

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA ECOEFICIENTE PARA LA FUNDACION KYRIOS

Gustavo Adolfo Delgado Buritica
Código: 1088014142

Antonio José Agudelo López
Código: 1088302383

PROYECTO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2016

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA ECOEFICIENTE PARA LA
FUNDACION KYRIOS**

**Gustavo Adolfo Delgado Buritica
Código: 1088014142**

**Antonio José Agudelo López
Código: 1088302383**

PROYECTO

**MSc. Edgar Alonso Salazar Marín
Director**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA
FACULTAD DE TECNOLOGÍAS
ESCUELA DE TECNOLOGÍA MECÁNICA
PEREIRA
2016**

Pereira, marzo de 2016

Nota de aceptación

Firma del Presidente del Jurado

Firma del Jurado

Pereira, marzo de 2016

DEDICATORIA

Principalmente a dios, a nuestras familias que siempre estuvieron colaborando en cada etapa de este proyecto de vida, a nuestros padres que sin dudar en un solo momento creyeron y depositaron toda la confianza en nosotros para hacer de esta carrera la etapa más especial de nuestra vidas.

Los familiares que nos acompañaron y estuvieron pendientes de cada paso que dábamos, a todas las personas, amigos, compañeros que siempre nos dieron una mano en los momentos difíciles no solo con las materias vistas, si no, también con los problemas que se nos presentaron y estuvieron ahí para brindarnos la mano.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a nuestras familias, amigos y demás cercanos que nos han brindado apoyo económico y moral, para culminar un ciclo más en este trayecto de mi vida tanto profesional como personal.

A la escuela de tecnología mecánica y todos los integrantes, profesores y administrativos que siempre nos trataron como parte de su familia, y depositaron todo su conocimiento para hacer de nosotros personas integra, perseverantes y apasionadas por nuestra vocación. Que despertaron esos deseos de investigar, ir más allá de lo leído o visto en clase, entender que el futuro se puede forjar pensando en grande.

CONTENIDO

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA ECOEFICIENTE PARA LA FUNDACION KYRIOS.....	1
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTUFA ECOEFICIENTE PARA LA FUNDACION KYRIOS.....	2
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTOS.....	5
CONTENIDO	6
1. INTRODUCCION.....	9
2. OBJETIVOS	11
2.1. OBJETIVO GENERAL.....	11
2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	11
3. MARCO DE REFERENCIA	12
3.1. ANTECEDENTES	12
3.2. MARCO CONTEXTUAL	13
3.3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL.....	13
3.3.1. Uso de leña, análisis y sus consecuencias.....	13
3.3.2. Principios de diseño y criterios de construcción.....	16
3.3.3. Protocolos para elaboración de prueba de ebullición en el agua (WBT) 21	
3.3.4. Pasos para preparación de la prueba	30
3.3.5. Parámetros de construcción del horno ecoeficiente.....	35
4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES.....	43
4.1. DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS.....	45
4.2. VARIABLES A CALCULAR	53
4.2.1. Cálculo de variables para el horno prueba inicio frio.....	53
4.2.2. Calculo de variables para el horno prueba inicio caliente.	56
4.2.3. Cálculo de variables para la estufa antigua prueba inicio frio.....	59
4.2.4. Cálculo de variables para la estufa antigua prueba inicio caliente	62
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	70
6. BIBLIOGRAFIA.....	71

FIGURAS

Figura 1. Estufa ahorradora de leña. (www.google.com)	12
Figura 2. Estufa eficiente. (www.google.com)	13
Figura 3. Temperaturas en que ocurren los fenómenos químicos en la madera. (Autores)	15
Figura 4. Transferencia de energía por radiación. (www.google.com.co)	16
Figura 5. Forma de transmitirse la energía calorífica en una olla. (www.google.com.co)	18
Figura 6. Métodos para evitar pérdidas. (Autores)	19
Figura 7. Soporte para sonda de la termocupla. (Alianza mundial para estufas limpias)	22
Figura 8. Madera utilizada para determinar la humedad. Fuente (Autores)	23
Figura 9. Balanza utilizada en la prueba. Fuente (Autores)	31
Figura 10. Medidor fluke de Universidad Tecnológica de Pereira. Fuente (Autores).	32
Figura 11. Horno Haceb utilizado para determinar humedad de madera. Fuente (Autores).	33
Figura 12. Base Principal. (Autores)	37
Figura 13. Perímetro terminado con base para ductos de escape. (Autores)	37
Figura 14. Sección cámara de combustión. Fuente (Autores)	38
Figura 15. Vista superior de ducto de escape. (Autores)	39
Figura 16. Imagen ductos de escape en construcción. Fuente (Autores)	40
Figura 17. Horno con la chimenea. Fuente (Autores)	41
Figura 18. Horno ecoeficiente terminado. Fuente (Autores)	41
Figura 19. Madera lista para la prueba. Fuente (Autores)	43
Figura 20. Agua pesada para inicio de cada prueba. Fuente (Autores)	44
Figura 21. Temperatura tomada durante la prueba. Fuente (Autores).	44
Figura 22. Ceniza pesada después de la prueba WBT. Fuente (Autores)	Error!
Bookmark not defined.	
Figura 23. Combustible consumido en una hora de labor. Fuente (Autores)	66
Figura 24. Pronostico cantidad de madera consumida en 370 días. Fuente (Autores).	67
Figura 25. Pronostico cantidad de agua hervida en 370 días. Fuente (Autores).	68

TABLAS

Tabla 1. Parámetros de balanza. Fuente (Autores).....	31
Tabla 2. Parámetros de medidor fluke. Fuente (Autores).....	31
Tabla 3. Parámetros horno Haceb. Fuente (Autores).....	32
Tabla 4. Valores de primera prueba en horno. Fuente (Autores).	45
Tabla 5. Valores de segunda prueba en horno. Fuente (Autores).....	46
Tabla 6. Valores promedio prueba inicio frio en horno. Fuente (Autores).....	47
Tabla 7. Valores promedio prueba inicio caliente en horno. Fuente (Autores).	48
Tabla 8. Valores de primera prueba en estufa antigua. Fuente (Autores).	49
Tabla 9. Valores de segunda prueba en estufa antigua. Fuente (Autores).....	50
Tabla 10. Valores promedio prueba en estufa antigua inicio frio. Fuente (Autores). 51	
Tabla 11. Valores promedio prueba en estufa antigua inicio caliente. Fuente (Autores).	52
Tabla 12. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).....	65
Tabla 13. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).....	65
Tabla 14. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).....	67

1. INTRODUCCION

El problema radica en la falta de adecuación de una estufa eficiente en la fundación Kyrios. Cabe mencionar que hace seis años el semillero de investigación en energía renovable viene realizando aplicaciones como la vivienda construida utilizando como materia prima botellas plásticas, sistema de recolección de aguas lluvia; esto con el fin de mejorar la calidad de vida en la fundación. Las personas que actualmente viven en la fundación cuentan con una estufa mal diseñada, la materia prima que se utiliza para generar la combustión (madera) se está desperdiciando y el humo producto de la pirolisis¹ afecta la salud de quienes cocinan generando enfermedades oculares y respiratorias.

El excesivo gasto de madera ha incrementado la deforestación, principal causa del calentamiento global. Debido al elevado precio de estufas a gas o la costosa instalación de una red de gas domiciliario; se opta por desarrollar el proyecto que pretende diseñar construir y adecuar una estufa eficiente que permita la cocción de alimentos fácilmente y sin generar contaminantes externos.

El mercado actual provee una amplia variedad de estufas cuyo combustible de ignición es el gas propano o el gas natural, algunas de ellas más costosas que otras en adquisición y operación. La instalación y puesta en funcionamiento de estos sistemas en lugares rurales de bajos recursos es difícil, debido al costo de una estufa que oscila de (300.000 a 400.000) \$; la compra cada mes de una pipa de gas propano que tiene un valor de \$ 50.000 y aún más costosa la adecuación de una red de gas natural domiciliario, que tiene un costo aproximado de instalación de 2'500.000 \$.

Utilizar como combustible madera ofrece una solución evidente a los problemas económicos, reduciendo los costos de combustible aproximadamente en un 60 % con relación al gas propano. En la actualidad la fundación consume un promedio de 30 Kg de madera por día; dato otorgado por (MSc. Edgar Alonso Salazar Marín), esta cantidad equivale aproximadamente a cinco guaduas; razón por la cual se quiere mejorar la eficiencia del diseño actual.

Este proyecto pretende desarrollar una herramienta eficiente para obtener un beneficio ambiental, económico y social, que permita a las personas de la fundación preparar los alimentos adecuadamente.

El presente proyecto se refiere a la construcción de una estufa ecoeficiente que mejore en eficiencia a la estufa actual existente en la fundación. El excesivo consumo de leña afecta el medio ambiente, por este motivo se elige un diseño adecuado de la estufa para que las emisiones de contaminantes producto de la combustión, no afecten las personas que trabajan preparando los alimentos.

¹ Pirolisis: descomposición térmica de un material en ausencia de oxígeno u otro reactante, se produce por una serie compleja de reacciones químicas y procesos de transferencia de materia y calor.

En la actualidad los países subdesarrollados tienen problemas de tala de bosques debido al mal uso de la madera para la obtención de energía en forma de calor, en el caso de las estufas rurales las personas cuentan con sistemas precarios donde no se tiene un control de la leña necesaria para preparar los alimentos, y los principios de la termodinámica como lo son transferencia de energía, determinación de pérdidas, trabajo realizado por el sistema, potencia, entre otros. No son relevantes para la configuración del diseño.

Este proyecto se realizó con el interés de mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en la fundación Kyrios. Necesitan que los alimentos estén preparados de forma rápida ya que son más de 50 personas y la mitad son niños y jóvenes. Otro factor importante tiene que ver con la salubridad de las personas que preparan los alimentos, por tal motivo se opta por realizar un diseño de las cámaras de combustión y ductos de escape, que garantice la nulidad de emisiones en el lugar de preparación de alimentos

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar, construir y adecuar una estufa eficiente en la fundación Kyrios.

2.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Realizar revisión bibliográfica.
- Reducir el humo y el calor dentro de la cocina para evitar enfermedades respiratorias, oculares y desgaste físico.
- Mejorar la estufa tradicional para contribuir al menor consumo de leña y así disminuir los costos de este combustible.
- Realizar una evaluación térmica del diseño del sistema de horno implementado.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1. ANTECEDENTES

En la actualidad se ha diseñado y construido una amplia gama de hornos o estufas. Estos sistemas permiten mejorar la calidad de vida de personas que carecen de recursos. Para la adecuación de nuevas tecnologías a nivel mundial entidades como PESA² de México crean diseños de hornos para familias de bajos recursos ver figura 1.

Figura 1. Estufa ahorradora de leña. (www.google.com)



En regiones de Colombia existen planes para mejorar la calidad de vida de las personas que habitan en zonas rurales; allí es donde más se utilizan hornos a base de leña. Los prototipos creados, se hacen con el fin de disminuir las tasas de consumo, un ejemplo de esto fue el plan que se lleva realizando desde 2012 en el municipio de Yarumal departamento de Antioquia regalando estufas eficientes a la población. Ver figura 2.

² PESA: Siglas en español que significan; Programa Especial para la Seguridad Alimentaria.

Figura 2. Estufa eficiente. (www.google.com)



En Risaralda la carder (corporación autónoma regional de Risaralda) adelanto el proyecto hogares que beneficio a 904 familias entre el 2012 y 2014, con la construcción de estufas sin humo mejorando la calidad de vida de las personas y disminuyendo el consumo de madera.

3.2. MARCO CONTEXTUAL

El diseño, construcción y adecuación de un horno eficiente se realizará en la fundación Kyrios ubicada en la calle 20 este # 12-31 Pereira Risaralda.

3.3. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

3.3.1. Uso de leña, análisis y sus consecuencias

La leña es una fuente de energía primaria que se obtiene directamente de la naturaleza, troncos de árboles, madera para construcción o palos de café son el material utilizado en los hogares para la cocción de alimentos. Según (1) Alrededor del 60% de todas las poblaciones regionales (Sur y Centro América), o sea cerca de 250 millones de personas, dependen preferentemente de la leña como fuente de energía para cocinar los alimentos y calentar los hogares. Esto refleja que el uso de este medio para la obtención de energía es alto, lo que implica un incremento en la deforestación. Otro dato que se debe tener en cuenta es que cerca de 2.600 millones de personas en el mundo utilizan la leña como medio de calefacción o cocción de alimentos y se estima que para el año 2030 la cifra incremente a 2.700 millones de personas.

La deforestación en Colombia debido al uso excesivo de leña, adecuación de campos ilícitos e implementación de terrenos para ganado entre otros; muestra evidencias preocupantes puesto que se destruyen las reservas forestales, los páramos y la biodiversidad. Un estudio realizado por (2) determina que la cobertura

boscosa de Colombia pasará de 49'601.000 ha en el 2000 a 45'780.000 ha en el 2020, significando una reducción del 8%.

Es importante evidenciar que a medida que el mundo avanza en tecnología, obtención y puesta en funcionamiento de energías renovables, globalización de los mercados y aumento exorbitante del consumismo; existen cientos de miles de personas que no gozan de estos beneficios, las cuales no tienen un sustento económico estable que les permita cubrir con las necesidades básicas como lo son salud, servicio de energía, acueducto- alcantarillado y derecho a una nutrición digna. De este último ítem, (3) arroja resultados desalentadores; estima que en el período 2010-12 el número de personas sub nutridas se ha situado en unos 870 millones. Esta cifra representa el 12,5 % de la población mundial, o sea, una de cada ocho personas. La gran mayoría de estas personas (852 millones) vive en países en desarrollo, donde la prevalencia de la sub nutrición se estima actualmente en el 14,9 % de la población. En América Latina existen alrededor de 42 millones de personas con sub nutrición lo que equivale al 7,7 %.

Para tener una perspectiva de la importancia de la leña como medio de energía para la preparación de los alimentos, se muestran a continuación datos arrojados en Chile, país con un alto desarrollo económico en la región. (4) Habla de que el sector residencial, comercial y público representa alrededor del 60 % de la demanda total de la biomasa³ en Chile. El sector residencial y rural ha tenido un incremento anual del 3 % en la demanda de biomasa desde 1990.

El estudio del proceso de combustión que tiene la “leña” para la cocción de los alimentos es importante de analizar en el proyecto. Entenderlo permite obtener lineamientos para el diseño de la cámara de combustión y de los ductos de circulación del calor así como el ducto de evacuación de gases (humo).

Según (5) la combustión es un proceso por el que la biomasa directamente o sus biocombustibles derivados son oxidados hasta dióxido de carbono (CO₂) y agua. El proceso se realiza a altas temperaturas (800-1000) °C, utilizando aire como agente oxidante e involucrando una etapa inicial de pirólisis y otra de gasificación de la biomasa previa a la combustión propiamente dicha.

La combustión en condiciones reales emplea una cantidad de aire por encima de lo necesario para generar la oxidación total de combustible en este caso madera. En general, el término “combustión de biomasa” suele hacer referencia a la combustión directa de la biomasa o de los combustibles sólidos.

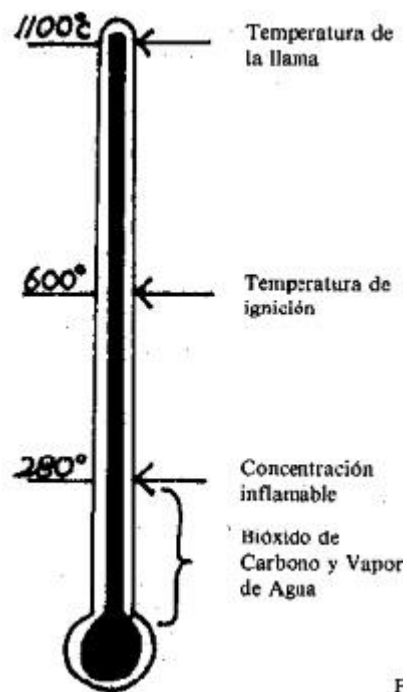
La combustión de la biomasa transcurre con liberación de energía en forma de calor y los productos restantes principales, como se han mencionado, son el dióxido de carbono, agua (a la salida del equipo de combustión) y las sales minerales contenidas en la biomasa empleada como combustible, además de pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno y azufre, así como de monóxido de carbono, partículas de carbono y otros productos orgánicos (hidrocarburos) resultantes de la

³ Biomasa: Conjunto de materiales biológicos y por tanto, constituidos de materia orgánica, que están disponibles para la producción de energía.

combustión incompleta de la biomasa. Las sales minerales junto con otros gases en pequeñas cantidades constituyen las cenizas del proceso, que bajo determinadas condiciones, pueden ser, restituidos al suelo como fertilizantes. El resto de los productos secundarios mencionados constituyen las emisiones gaseosas del proceso cuya minimización es necesaria a fin de disminuir el impacto ambiental y de salud producido por este proceso.

Cuando se agrega un trozo de madera al fuego ocurren cambios químicos por la presencia de calor. Al principio se liberan los gases no combustibles, dióxido de carbono y vapor de agua. A medida que aumenta la temperatura también se despiden gases combustibles y alquitrán. Este proceso de degradación química de la madera se llama pirolisis. Cuando la temperatura excede los 280°C la proporción de gases inflamables emitidos es suficientemente alta para quemarse en presencia de oxígeno y a temperatura que todos estos procesos normalmente están ocurriendo simultáneamente en un fuego de leña.

Figura 3. Temperaturas en que ocurren los fenómenos químicos en la madera. (Autores)



La madera húmeda proporciona menos calor porque una fracción importante de calor generado se gasta en evaporar el agua. Hasta un 12 % de la energía calórica es consumida en este proceso. La evaporación del agua de esta madera diluye los gases inflamables lo que disminuye la fase de combustión y su eficiencia. Esto resulta en un fuego con más humo y aumenta la condensación de alquitranes en la estufa y chimenea.

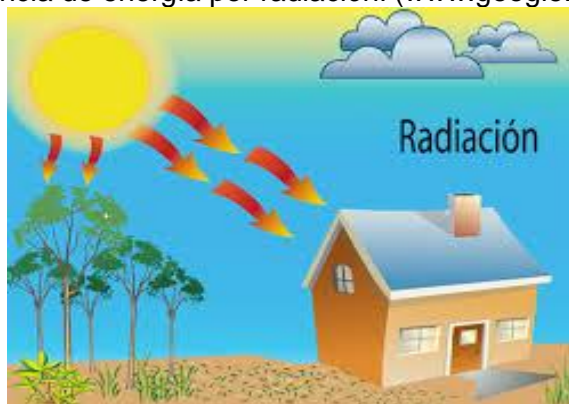
3.3.2. Principios de diseño y criterios de construcción

Para obtener un proceso de combustión exitoso se debe tener conocimiento de los aspectos principales en el diseño del horno eficiente. Se determina cómo se transmite el calor, el inicio del proceso de combustión y las formas de evitar la pérdida de calor en el equipo. La etapa siguiente al análisis térmico, requiere de la selección de materiales necesarios para la construcción del horno así como la determinación de las características principales de las partes; como lo son, base principal de la estufa, cámaras de combustión, ductos de flujo de calor, chimenea de evacuación de gases y parrillas para ollas.

- **Análisis térmico**

Para iniciar el proceso de combustión se requiere de combustible (para el horno eficiente se usara madera), aire y alta temperatura. Una vez iniciado, se presenta la transferencia de calor por radiación donde (6) define **radiación** como la energía emitida por la materia en forma de ondas (o fotones) electromagnéticos, como resultado de los cambios de las configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas. A diferencia de la conducción y la convección, la transferencia de energía por radiación no requiere de la presencia de un medio entre el sistema y sus alrededores ver figura 4. De hecho la transferencia de energía por radiación es la más rápida (a la velocidad de la luz) y no sufre atenuación en el vacío. Esta es exactamente la manera en que la energía del sol llega a la tierra.

Figura 4. Transferencia de energía por radiación. (www.google.com.co)



La radiación es un fenómeno volumétrico y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un fenómeno superficial en sólidos que son opacos a la radiación térmica como los metales, la madera y las rocas, ya que la radiación emitida por las regiones internas de dichos materiales nunca pueden alcanzar la superficie, y la radiación incidente en tales cuerpos suele ser absorbida a unos cuantos micrones de la superficie.

Determinar la tasa neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies es complicado, porque depende de las propiedades de las superficies, la orientación relativa entre ellas y la interacción del medio entre las superficies con la radiación. Sin embargo en el caso especial de una superficie pequeña de emisividad⁴ ϵ y de área superficial A , a temperatura absoluta T_s , que está completamente encerrada por una superficie más grande a temperatura absoluta T_{alr} . La tasa neta de transferencia de calor por radiación entre dos superficies se determina a partir de la ley de Stefan Boltmann, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ es la constante de Stefan Boltmann.

$$\dot{Q}_{emit} = \epsilon \sigma A T_s^4 \quad \text{Ecuación 1.}$$

Para entender los fenómenos térmicos presentes en la cocción de alimentos se explica el segundo proceso de transferencia de energía o **convección**. Se presenta entre una superficie sólida y un líquido o gas adyacente que está en movimiento, e involucra los efectos combinados de la conducción y del movimiento de un fluido. Cuanto mayor es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. La presencia de movimiento volumétrico en el fluido incrementa la transferencia entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las tasas de transferencia de calor.

La convección se llama convección forzada cuando el fluido es forzado a fluir en un tubo o sobre una superficie por medios externos como un ventilador, una bomba o el viento. En contraste la convección se llama convección libre (o natural) si el movimiento del fluido es provocado por las fuerzas de flotación inducidas por las diferencias de densidad, producto de la variación de la temperatura en el fluido.

Los procesos de transferencia de calor que incluyen el cambio de fase de un fluido, se consideran también de convección debido al movimiento inducido del fluido durante el proceso, como la elevación de las burbujas de vapor durante la ebullición o la caída de las gotas líquidas durante la condensación. La tasa de transferencia de calor por convección se determina por la **ley de Newton**, que se expresa como;

$$\dot{Q}_{conv} = hA(T_s - T_f) \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde h es el coeficiente de transferencia de calor por convección, A es el área de la superficie a través de la que ocurre la transferencia térmica, T_s es la temperatura de la superficie y T_f es la temperatura del fluido más allá de la superficie. (En la superficie la temperatura del fluido es igual a la temperatura superficial del sólido.)

⁴ Emisividad: es la emisividad de una superficie. Esta es una propiedad cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \epsilon \leq 1$, es una medida de lo cerca que una superficie está de un cuerpo negro, para el que $\epsilon = 1$. La emisividad del ladrillo refractario es 0.93 a 0.95.

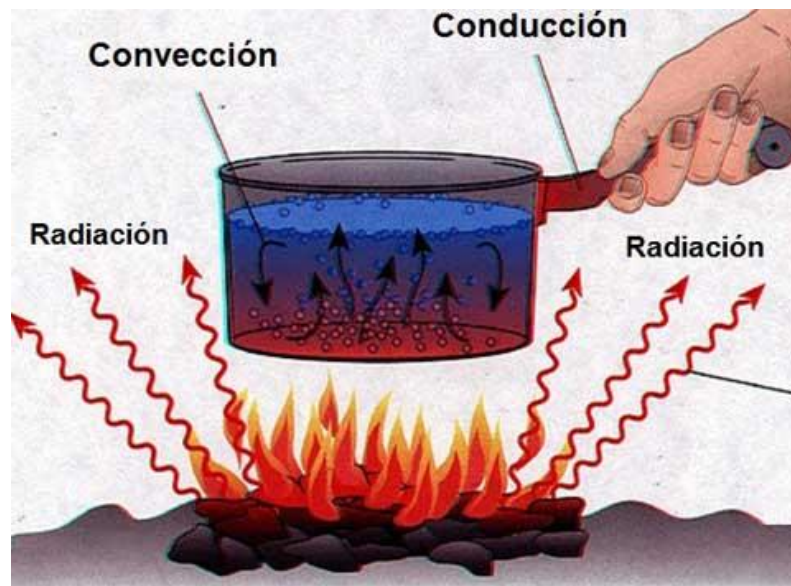
Otra forma de transferencia de calor presente en la combustión del horno es la **conducción**. Es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas, debido a las interacciones entre ellas. La conducción puede tener lugar en sólidos, líquidos o gases. En los gases y en los líquidos, la conducción se debe a las colisiones entre las moléculas de una estructura y la energía transportada por electrones libres.

Se observa que la rapidez de la conducción de calor \dot{Q}_{cond} , a través de una capa de espesor constante Δx , es proporcional a la diferencia de temperatura Δt , a través de la capa y al área **A**, normal a la dirección de la transferencia de calor, e inversamente proporcional al espesor de la capa. Kt es la conductividad térmica del material, para la preparación de los alimentos se utilizaran ollas de aluminio cuya conductividad térmica es; Kt = 209.3 W/m.K Por tanto:

$$\dot{Q}_{cond} = -KtA \frac{dT}{dx} \quad \text{Ecuación 3.}$$

La figura 5, muestra las formas de transmitirse la energía calorífica en el horno ecológico, entonces partiendo de estos principios se construirá el horno. Se busca aumentar la eficiencia mejorando la cámara de combustión y ductos de flujo de calor, para evitar que exista pérdida de energía calorífica por malos diseños.

Figura 5. Forma de transmitirse la energía calorífica en una olla.
(www.google.com.co)



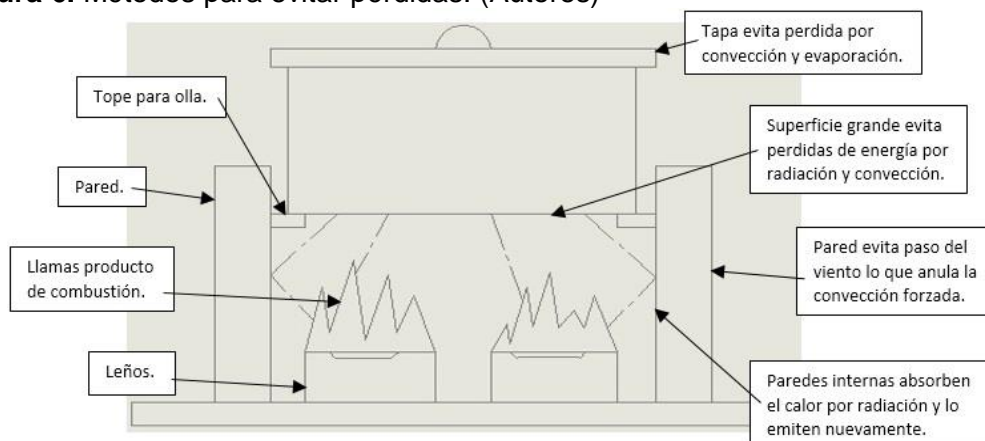
- **Formas de evitar pérdida de energía calorífica en el horno eficiente**

Los hornos o estufas de leña utilizados en el sector rural o en hogares de bajos recursos en Risaralda, son construidos sin tener en cuenta parámetros de diseño. Esto ocasiona que en la mayoría de hogares se desperdicie madera, exista contaminación por el humo y haya tiempos de cocción elevados. Otro factor importante que se tiene en cuenta es la interacción del aire en los hornos, su distribución así como su restricción, generan diferentes fenómenos, importantes de estudiar para la etapa de diseño.

Las personas en su afán de cocinar alimentos en el menor tiempo posible, implementan grandes cámaras de combustión que les permite almacenar la mayor cantidad de leña posible; esto ocasiona deficiencias en la combustión de la madera, pérdida de compuestos orgánicos volátiles (no se queman en el proceso de combustión) repercutiendo en la eficiencia del horno.

Para evitar pérdida de energía por convección, radiación y conducción se implementa una serie de configuraciones a la cámara de combustión y se utilizan materiales aptos que disminuyan las pérdidas. A continuación se explican las formas más comunes de pérdida de energía calorífica en los hornos y también los métodos para evitarlo.

Figura 6. Métodos para evitar pérdidas. (Autores)



En la figura 6 están los métodos que se pretenden utilizar para evitar las pérdidas. El primero es la adaptación de paredes laterales que sirvan para interrumpir la libre circulación de aire en la cámara de combustión. Debido a esta circulación las llamas se alejan de la superficie de la olla ocasionando pérdida de energía por convección forzada y la temperatura de cocción estaría por debajo de la temperatura de ignición (600°C) necesitando mayor tiempo para la preparación de alimentos. Esto no quiere decir, que se vaya a obstaculizar la entrada de aire a la cámara de combustión, dejar llegar aire al fuego es crucial para garantizar un aumento en la eficiencia, restringir el acceso de aire ocasionaría que los compuestos orgánicos volátiles no se queman generándose grandes cantidades de humo (principal causante de enfermedades respiratorias en las personas que cocinan).

Estas paredes también se utilizan para evitar la pérdida de energía radiante, como ya se sabe la radiación emitida por la llama no es perceptible hasta no hacer contacto con otra superficie, además las ondas viajan en todas las direcciones lo que ocasiona que las paredes laterales sirvan de receptoras y emisoras de energía radiante, evitando que estas salgan del sistema (cámara de combustión), el resto de ondas hacen contacto directo con la superficie de la olla.

El segundo método tiene que ver con la superficie de la olla, esta debe ser lo suficientemente grande para reducir al máximo las pérdidas de energía por convección y radiación, además la olla se colocará unos centímetros más abajo de la parte superior de las paredes laterales con el fin de evitar pérdidas por convección y también para disminuir la distancia entre la superficie de la olla y el punto de ignición.

Un factor importante a tener en cuenta, es el tamaño de los leños. Depende de factores como las dimensiones de la cámara de combustión y el tipo de leña etc. Al utilizar leños pequeños habrá un mayor flujo de aire lo que ocasiona que se quemen rápidamente sin dejar carbón (segunda fase del proceso de combustión de la madera) ocasionando que gran parte de los compuestos orgánicos volátiles se perderían. Los leños grandes por su parte se queman de forma lenta lo que ayuda a la realización del ciclo completo de combustión, un defecto es que requiere de una fuente externa o maderos pequeños para ser encendidos. Por último es importante la acomodación de la madera para garantizar un buen fuego, no se debe colocar de forma paralela, esto impide el flujo de aire (se alejan los gases y no hay combustión.)

3.3.3. Protocolos para elaboración de prueba de ebullición en el agua (WBT⁵)

A fin de establecer una comparación de las capacidades técnicas y operativas del horno ecoeficiente, en este estudio se han seguido los protocolos internacionales de evaluación de cocinas mejoradas. Estos protocolos fueron presentados inicialmente por voluntarios de VITA (Volunteers in Technical Assistance) y actualizados por ETHOS (Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service) y PCIA (Partnership for a Clean Indoor Air Network), y se pueden encontrar descritos detalladamente, junto con las plantillas de cálculo en formato Excel, en la página web de Aprovecho Research Center: <http://www.aprovecho.org/lab/pubs/testing>.

A continuación se hará una breve descripción de los protocolos y cómo éstos fueron implementados durante el desarrollo de las pruebas:

- WBT (WATER BOILING TEST)

Esta prueba está diseñada para calcular el rendimiento energético de la cocina en términos de transferencia de calor y eficiencia de la combustión. Permite determinar la eficiencia del proceso mediante el cual un horno emplea la energía contenida en el combustible en calentar el agua en una olla. Para la realización de esta prueba se hizo uso de la plantilla Excel: Water Boiling Test (WBT) data calculation sheet v.3.2.3. Se optará por una hoja de cálculo personalizada, la cual tiene en cuenta solo los valores de interés en este proyecto.

La prueba de hervido de agua consiste en calentar 2,5 litros de agua. Durante tres fases secuenciales en las que se anotará: tiempo que ha tardado en empezar a hervir, cuánta leña ha consumido para ello y cuánto carbón ha producido. Las fases en las que se divide una prueba de WBT son las siguientes:

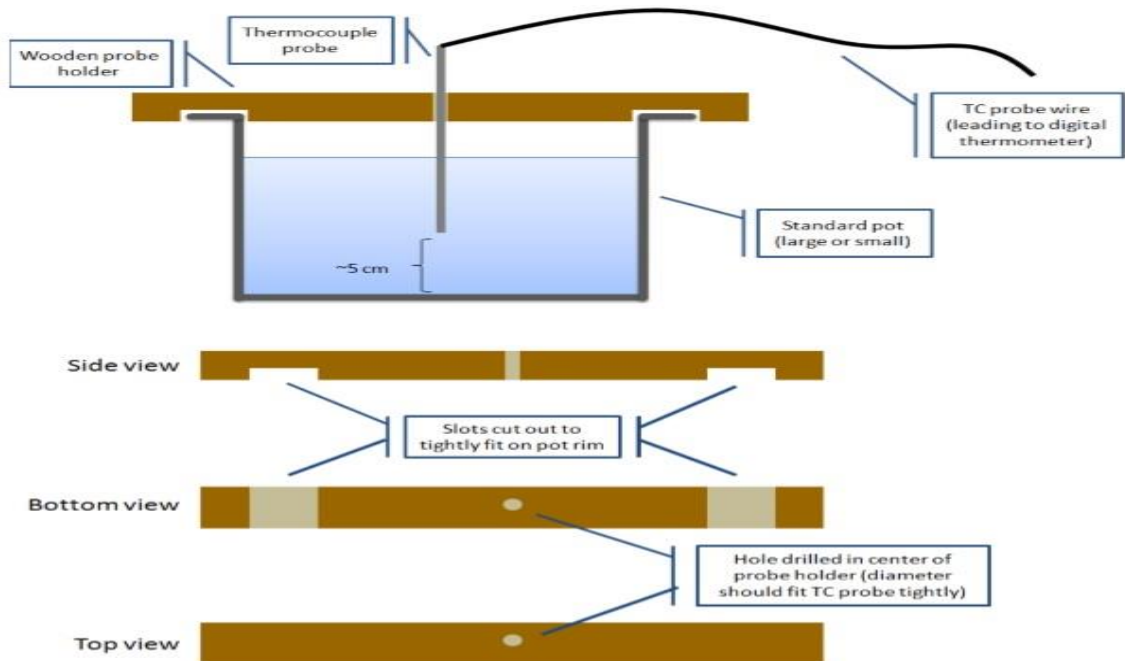
- Fase 1. Hervido en frío: Se hacen hervir 2,5 Litros de agua cuando el cuerpo de la cocina está frío (a temperatura ambiente).
- Fase 2. Hervido en caliente: Se hacen hervir 2,5 litros de agua pero esta vez con el cuerpo de la cocina caliente.
- Fase 3. Hervido a baja potencia: Se hacen hervir con el mínimo fuego posible 2,5 litros de agua durante 45 minutos, manteniendo la temperatura del agua en 100° C +/- 3°C.

⁵ WBT: siglas en ingles de (water boiling test) prueba de ebullición en el agua.

- **Apéndice 1**

El siguiente diagrama muestra un soporte de sonda de madera para mantener la sonda termopar (TC) en la olla. Las dimensiones no son críticas, pero deben hacerse el soporte de la sonda para que la sonda TC cabe en él con fuerza y el soporte de la sonda se ajusta de forma segura en la olla.

Figura 7. Soporte para sonda de la termocupla. (Alianza mundial para estufas limpias)



DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE EBULLICIÓN LOCAL

Según (7) El punto de ebullición local del agua es el punto en el que la temperatura ya no se eleva, no importa cuánto calor se aplica. La temperatura de ebullición local está influenciada por varios factores, incluyendo la altitud, inexactitudes menores en el termómetro, y las condiciones meteorológicas. Por estas razones, la temperatura de ebullición local no puede suponerse que es 100 °C. Para una altitud dada h (en metros), el punto de ebullición del agua se puede estimar mediante la siguiente ecuación:

$$T_b = \left(100 - \frac{h}{300}\right) ^\circ\text{C} \quad \text{Ecuación 4.}$$

El resultado teniendo en cuenta que Pereira está ubicado a 1411 m s. n. m. Es 98.23 °C. Se optara la medida de 100 °C como punto de ebullición del agua, para las pruebas debido a la mínima diferencia existente con el resultado calculado.

DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE COMBUSTIBLE

Ibid., p. 16. El Combustible bien seco contiene un (10 o 20) % de agua, mientras que la madera recién cortada puede contener más de un 50 % de agua en peso (base húmeda). Idealmente, el combustible utilizado para ambas pruebas se debe secar tanto como las condiciones ambientales locales lo permitan. Sin embargo, el combustible seco no siempre está disponible y los verificadores de la estufa deben realizar esta labor.

MC: Este es el contenido de humedad de la madera sobre una base húmeda, el cual da en fracción decimal, se puede entregar en porcentaje, pero para los cálculos debe colocarse el resultado en fracción decimal. Que se define por la siguiente fórmula:

$$MC = \frac{m_{comb/humedo} - m_{comb/seco}}{m_{comb/humedo}} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Medición del contenido de humedad se puede hacer de la siguiente manera. Utilizar la ecuación 5 mencionada anteriormente, pesando una muestra del combustible (masa de combustible) húmedo y un peso de nuevo después de que se haya secado por completo (masa de combustible) seco. Tomar una muestra de 1000 gr del combustible al azar de la reserva que se utilizará para las pruebas. Pesar la muestra y se registra la masa.

Secar la muestra en un horno a unos pocos grados más de 100 ° C y pesar de nuevo. Para secar la muestra, se pone en un horno durante la noche y luego se retira y pesa cada dos horas en una escala sensible (± 1 gr precisión) hasta que la masa ya no disminuye ver figura 8. La temperatura del horno debe ser cuidadosamente controlada para que no exceda de 110 °C. Si la madera está expuesta a temperaturas cercanas a 200 °C, se descompone térmicamente y pierde materia que no es agua, causando una medición inexacta de contenido de humedad.

Figura 8. Madera utilizada para determinar la humedad. Fuente (Autores).



- **Apéndice 2.**

PCIA⁶ y Alianza⁷ Op. Cit., Este apéndice contiene los indicadores que se determinan para establecer que tan eficiente es el horno mejorado respecto a la estufa existente en la fundación, determinar HHV o poder calorífico superior (KJ / Kg), MC (contenido de humedad %), Fcm o combustible consumido (gr), entre otros que se verán a continuación. Permite la comprensión y análisis de los parámetros para que la prueba tenga un soporte técnico veraz donde se pueda hacer una comparación entre el horno ecoeficiente y la estufa a evaluar.

Estos parámetros o indicadores se tomaron del protocolo 4.2.3. Pertenecientes a la prueba de ebullición en agua WBT. Se establecen una serie de parámetros avalados por un comité evaluador mediante un acuerdo IWA⁸. Los indicadores permiten determinar el rendimiento del horno ecoeficiente, teniendo en cuenta que la prueba puede variar respecto al funcionamiento en campo del horno. Cuantificar el desempeño de del horno ecoeficiente permite evaluar el diseño y tomar decisiones.

A continuación se explicarán los indicadores necesarios para establecer el rendimiento del horno ecoeficiente seguido de las fórmulas para cuantificarlos; además de los valores constantes en la fase fría, caliente y los parámetros variables. 0

Ahora se analiza el poder calorífico del combustible que según (8) es la cantidad de energía que es capaz de producir un combustible por cada kilogramo o litro quemado. Se estudian las dos clases de poder calorífico como lo son; poder calorífico superior y poder calorífico inferior así como sus diferencias.

HHV: Poder calorífico superior (también llamado valor calorífico bruto). Esta es la cantidad máxima teórica de energía que puede ser extraído de la combustión del combustible libre de humedad si está completamente quemado y los productos de combustión se enfrían a temperatura ambiente tal que el agua producida por la reacción del hidrógeno unido combustible se condensa a la fase líquida.

⁶ PCIA: siglas en ingles de Alianza para el aire limpio en el interior de las viviendas, es la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU.

⁷ Alianza: Alianza Mundial para Estufas Limpias.

⁸ IWA: documento ISO producido a través de reunión y taller (s) y no a través de proceso de comité técnico. Cualquier interesado puede proponer una IWA y puede participar en el desarrollo de uno. un organismo miembro de ISO será asignado a organizar y dirigir la reunión (s) taller que resulta en la IWA. Los agentes del mercado y otras partes interesadas de participar directamente en la IWA y no tiene que pasar por una delegación nacional. Un IWA puede producirse en cualquier tema.

LHV: Poder calorífico inferior (también llamado valor neto de calentamiento). Esta es la cantidad máxima teórica de energía que puede ser extraído de la combustión del combustible libre de humedad si está completamente quemado y los productos de combustión se enfrían a temperatura ambiente, pero el agua producida por la reacción del hidrógeno unido combustible permanece en la fase gas.

La diferencia radica en que al haber un cambio de fase de gaseoso a líquido, se produce calor debido a la condensación. Mientras que en el poder calorífico inferior no existe un cambio de fase por ende se habla de un calor latente el cual aumenta la energía en el agua pero no aumenta su temperatura.

Los valores del poder calorífico superior e inferior, para el carbón de madera son 31000 (Kj/Kg) y 29800 (Kj/Kg) respectivamente.

VARIABLES DE FASE DE ALTA POTENCIA (INICIO FRIO Y CALIENTE)

Las variables que se miden directamente

f_{ci} : Masa de combustible antes de la prueba (gr)

$P1_{ci}$: Masa de olla de agua antes de la prueba (gr)

$T1_{ci}$: Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)

t_{ci} : Tiempo del período inicial de prueba (min)

f_{cf} : Masa de combustible después de la prueba (gr)

C_c : Masa con el plato después de la prueba (gr)

$P1_{cf}$: Masa de olla de agua después de la prueba (gr)

$T1_{cf}$: Temperatura agua al final de la prueba (°C)

t_{cf} : Tiempo período final de la prueba (min)

Las variables que se calculan

f_{cm} : Combustible consumido y húmedo (gr)

Δ_{Cc} : Cantidad de masa de carbón creado durante la prueba (gr)

f_{cd} : Madera seca equivalente consumida (gr)

W_{cv} : Agua vaporizada (gr)

W_{cr} : Masa efectiva de agua hervida (gr)

Δ_{tc} : Tiempo para hervir (min)

$\Delta t^T c$: Temperatura corregida tiempo para hervir (min)

h_c : La eficiencia térmica (%)

r_{cb} : Velocidad de Combustión (gr / min)

S_{cc} : Consumo específico de combustible (madera gr / litro agua)

F_{pc} : Potencia de fuego (W)

f_{cm} : El combustible consumido (húmedo), es la masa de la madera utilizada para llevar el agua a ebullición, se encuentra tomando la diferencia del combustible pesado al inicio de la prueba y la madera que queda al final de la fase de prueba:

$$f_{cm} = f_{ci} - f_{cf} \quad \text{Ecuación 6.}$$

Δ_{cc} : El cambio neto en el carbón durante la prueba, es la masa de carbón creado al momento de la combustión de la madera. Debido a que es muy caliente, el carbón será colocado en un recipiente previamente pesado vacío de k masa, después se pesa el carbón con el contenedor, y luego restando la masa del contenedor; como lo indica la siguiente formula:

$$\Delta_{cc} = C_c - k \quad \text{Ecuación 7.}$$

W_{cv} : La masa de agua vaporizada, es una medida de la pérdida de agua por evaporación durante la prueba. Es calculado restando el peso inicial de la olla y agua, menos peso final de olla y agua.

$$W_{cv} = P1_{ci} - P1_{cf} \quad \text{Ecuación 8.}$$

W_{cr} : La masa efectiva de agua hervida, es el agua restante al final de la prueba. Es una medida de la cantidad de agua que calienta hasta ebullición. Se calcula mediante una simple sustracción de peso final de olla y agua menos el peso de la olla. Se utiliza la ecuación 9.

$$W_{cr} = P1_{cf} - P1 \quad \text{Ecuación 9.}$$

Δ_{tc} : El tiempo para hervir olla, es la diferencia entre los tiempos de inicio y culminación; ecuación 10.

$$\Delta_{tc} = t_{af} - t_{ci} \quad \text{Ecuación 10.}$$

Se ajusta el resultado, permitiendo tomar el tiempo sobre un cambio de temperatura estándar de (75 a 100) °C. Este ajuste estandariza los resultados y facilita una

comparación entre las pruebas de que puede haber utilizado agua con temperaturas iniciales más altas o más bajas.

f_{cd} : Es la madera seca equivalente consumida, ajusta la cantidad de combustible seco que se quemó teniendo en cuenta dos factores: (1) la energía que se necesita para eliminar la humedad en el combustible y (2) la cantidad de combustible restante no quemado. La masa de combustible seco consumido es el combustible húmedo consumido menos la masa agua en el combustible:

$$f_{cd} = \text{comb seco} - \text{comb para evap agua} - \text{comb no quemado} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Ahora se procede al cálculo del combustible seco (*comb seco*), teniendo en cuenta la ecuación 12.

$$\text{comb seco} = f_{cm}(1 - MC) \quad \text{Ecuación 12.}$$

El segundo factor es el combustible para evaporar el agua, para calcularlo se utiliza la ecuación 13. Donde $\Delta E_{H_2O,c}$, es La energía que se necesita para eliminar la humedad en el combustible y se determina teniendo en cuenta la ecuación 14. Y LHV es el poder calorífico inferior.

$$\text{comb para evap agua} = \frac{\Delta E_{H_2O,c}}{LHV} \quad \text{Ecuación 13.}$$

$$\Delta E_{H_2O,c} = m_{H_2O,c}(C_p(T_b - T_{comb,i}) + \Delta h_{H_2O,fg}) \quad \text{Ecuación 14.}$$

Se calcula el combustible no quemado, teniendo en cuenta la energía de combustible almacenada en el carbón restante (carbón no consumido en la pirolisis), calculada de la siguiente manera $\Delta E_{quem,c} = \Delta C_c * LHV_{quem}$, dividido por el poder calorífico inferior. Quedando la fórmula de la siguiente manera:

$$\text{comb no quemado} = \frac{\Delta E_{quem,c}}{LHV} \quad \text{Ecuación 15.}$$

De la ecuación 14, se tiene que $m_{H_2O,c}$, es la masa de agua que tiene el combustible y se determina de la siguiente forma $m_{H_2O,c} = P1_{ci} - P1$. La capacidad de calor específica se puede calcular como $C_p = 4,186 \text{ (KJ/KgK)}$, donde (9) dice que el calor específico es la cantidad de calor necesaria para aumentar la temperatura en una unidad, para una sustancia.

Para el análisis se tiene en cuenta el valor del calor específico del agua. Donde se dice que hace falta 4,185 KJ de anergia para aumentar un grado la temperatura de un Kilogramo de agua.

Ahora la entalpia específica de evaporización se puede aproximar de la siguiente manera $\Delta h_{H_2O,fg} = 2,257 \text{ (Kj/Kg)}$ para el agua, es la cantidad de energía necesaria para que la unidad de masa (kilogramo, mol, etc.) de una sustancia que se encuentre en equilibrio con su propio vapor a una presión de una atmósfera pase completamente del estado líquido al estado gaseoso.

Ahora para el cálculo del *comb no quemado* se tiene en cuenta la siguiente formula $\text{comb no quemado} = \frac{\Delta E_{quem,c}}{LHV}$, donde $\Delta E_{quem,c}$, es La energía de combustible almacenado en el carbón no quemado en la combustión.

Entonces para el cálculo de la Madera seca equivalente consumida, se tiene en cuanta la siguiente formula:

$$f_{cd} = f_{cm}(1 - MC) - \frac{\Delta E_{H_2O,c}}{LHV} - \frac{\Delta E_{quem,c}}{LHV}$$

$$f_{cd} = f_{cm}(1 - MC) - \frac{m_{H_2O,c}(C_p(T_b - T_{comb,i}) + \Delta h_{H_2O,fg})}{LHV} - \frac{\Delta_{Cc} * LHV_{quem}}{LHV}$$

$$f_{cd} = f_{cm}(1 - MC) - \frac{f_{cm} * MC(4,186(T_b - T_{comb,i}) + 2,257)}{LHV} - \frac{\Delta_{Cc} * LHV_{quem}}{LHV}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{cm}(LHV(1-MC) - MC(4,186(T_b - T_{comb,i}) + 2,257)) - \Delta_{Cc} * LHV_{quem}}{LHV} \quad \text{Ecuación 16.}$$

h_c : Eficiencia térmica, Esta es una proporción de la labor realizada por calentamiento y evaporación del agua a la energía consumida por la quema de combustible. Se trata de una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera:

$$h_c = \frac{\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} + \Delta E_{H_2O \text{ evaporado}}}{E_{consumida}} \quad \text{Ecuación 17.}$$

A continuación se explican cada uno de los parámetros que conforman la ecuación 11.

La anergia para calentar el agua o ($\Delta E_{H_2O \text{ caliente}}$), es la masa de agua multiplicado por un momento específico C_p de la capacidad de calor, y por el cambio de temperatura en la combustión. La ecuación que se utiliza para el cálculo es la siguiente:

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = m_{H_2O} * C_p * \Delta T \quad \text{Ecuación 18.}$$

El segundo parámetro es la energía para evaporar el agua ($\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}}$), es igual a la masa de agua evaporada multiplicada por la entalpia específica de evaporación del agua, se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = W_{cv} * \Delta h_{H_2O,fg} \quad \text{Ecuación 19.}$$

Ahora se calcula la masa de agua, esta es igual a la multiplicación del combustible consumido por es el contenido de humedad de la madera sobre una base húmeda, ecuación 5 y ecuación 6. La ecuación es la siguiente;

$$m_{H_2O} = P1_{ci} - P1 \text{ Ecuación 20.}$$

Por último se calcula la energía consumida $E_{consumida}$, es igual al producto entre la masa equivalente de combustible seco consumido f_{cd} , y el poder calorífico inferior LHV. Indicado en la siguiente ecuación;

$$E_{consumida} = f_{cd} * LHV \text{ Ecuación 21.}$$

r_{cb} : Velocidad de combustión. Esta es una medida de la tasa de consumo de combustible, con la que el agua hierve. Se calcula dividiendo el combustible seco equivalente consumido por el tiempo de la prueba, se indica en la ecuación 16;

$$r_{cb} = \frac{f_{cd}}{\Delta t_c} \text{ Ecuación 22.}$$

S_{Cc} : Consumo específico de combustible. El consumo específico se puede definir para cualquier número de tareas de cocina y debe ser considerado "el combustible necesario para producir una unidad de producto" se hierve el agua, frijoles cocidos, o barras de pan. En el caso de la WBT de alta potencia, es una medida de la cantidad de madera necesaria para producir un litro (o kilo) de agua hirviendo. Es calculado como:

$$S_{Cc} = \frac{f_{cd}}{W_{cr}} \text{ Ecuación 23.}$$

Donde W_{cr} , se determina con la ecuación 9.

F_{pc} : Potencia de fuego, se trata de la energía que otorga el combustible consumido para hervir el agua dividido por el tiempo de hervir. Cuenta la potencia media de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia, se utiliza para su cálculo la siguiente ecuación;

$$F_{pc} = \frac{f_{cd} * LHV}{\Delta t_c * 60} \text{ Ecuación 24.}$$

3.3.4. Pasos para preparación de la prueba

- **Preparación para las pruebas.**

1. Asegúrese que haya suficiente espacio y tiempo suficiente para llevar a cabo la prueba sin interrupciones. Las pruebas deben realizarse bajo techo en un lugar que esté protegido del viento, pero con suficiente ventilación para ventilar las emisiones nocivas de la estufa. El viento, la transferencia de calor, cambios de aire entre la estufa y la olla afectarán los resultados de la prueba, y esto debe evitarse.

2. Prepare el combustible. Preparar y pesar bastante combustible para cada WBT que se lleve a cabo. Cada paquete debe ser de al menos de 5 kg. Algunas estufas pueden necesitar más combustible. La leña que se utilizará para iniciar el fuego debe estar preparada antes de tiempo y se incluye en los paquetes pre-pesados de combustible.

3. Determinar el contenido de humedad del combustible a utilizar. Véanse las instrucciones en el apéndice 1.

4. Preparar agua. Se necesitan 2.5 litros para cada olla que se utiliza en las tres fases del WBT. El agua debe estar a temperatura ambiente antes de la prueba. No empiece las pruebas con agua que está más caliente que la temperatura ambiente.

- **Calibración.**

La balanza que se utiliza para pesar la madera se puede calibrar comprobando la exactitud con una masa de prueba. El cronometro que se utiliza para llevar el tiempo se puede monitorear con un reloj de referencia y Los termómetros de grabado de tiempo real pueden ser calibrados usando puntos fijos termométricos (es decir, un baño de hielo y agua hirviendo).

- **Equipo necesario.**

Balanza con una capacidad de al menos 6 kg y precisión de ± 1 gramo.

Termómetro digital con sonda de termopar adecuado para la inmersión en líquidos.

Medidor de la humedad de la madera O BIEN horno para el secado de la madera y Cronómetro.

Cinta métrica para la medición de la madera y la estufa (cm).

Ollas estándar: ollas que se utilizan en su región y tienen un volumen de aproximadamente 3.5 litros (para las pruebas de 2.5-L).

Regla de madera o metal para fijar el termómetro en agua.
 Espátula para quitar el carbón de la estufa.
 Cacerola para la transferencia de carbón.
 Bandeja de metal para sostener el carbón para su pesaje.
 Guantes resistentes al calor.

- **Instrumentos de medida y características**

Balanza marca la reina a continuación sus características principales:

Tabla 1. Parámetros de balanza. Fuente (Autores).

DISPOSITIVO	CAPACIDAD	PRECISION
La reina	(0 a 10) Kg	0,25 ± gr

Figura 9. Balanza utilizada en la prueba. Fuente (Autores).



Termómetro digital necesario para determinar la temperatura ambiente, temperatura de ebullición. Parámetros claves para la elaboración de la prueba WBT.

Tabla 2. Parámetros de medidor fluke. Fuente (Autores).

DISPOSITIVO	TIPO DE CORRIENTE	RANGO DE TEMPERATURA	PRECISION

Medidor fluke	AC / DC	De 0,01 a 1000°C/ 1832°F	± (3.0%)
---------------	---------	-----------------------------	----------

Figura 10. Medidor fluke de Universidad Tecnológica de Pereira. Fuente (Autores).



El horno para el secado de la madera y determinación de la humedad es de marca Haceb (horno a gas). A continuación se describen las características:

Tabla 3. Parámetros horno Haceb. Fuente (Autores).

DISPOSITIVO	POTENCIA NOMINAL	RANGO TEMPERATURA	PRESICION
Horno a gas Haceb	2,05 Kw	(0 a 260) ° C	10 ° C

Figura 11. Horno Haceb utilizado para determinar humedad de madera. Fuente (Autores).



- **Evaluación de una estufa nueva.**

Se debe tener presente que al ser una estufa nueva el análisis según (WBT) se debe hacer luego de poner en funcionamiento la estufa, esto es porque algunos materiales con los que se construye pueden tener un porcentaje de humedad considerable, que altera los datos de la prueba.

- **Determinación de la humedad de la madera.**

Se determina la humedad relativa de la madera que se utiliza para la prueba, teniendo en cuenta la ecuación 5. Siguiendo el primer método de determinación de dicha humedad

- **Determinación del combustible de trabajo y la olla para la prueba.**

La selección del combustible se debe hacer teniendo en cuenta en la materia prima existente en la fundación, así mismo se debe determinar la humedad de la madera ya que es un paso importante en los resultados de rendimiento de la estufa. Las pruebas deben hacerse utilizando la misma madera, con la misma humedad y

procurando que los trozos de madera tengan las mismas dimensiones 1.5 cm x 1.5 cm a 3 cm x 3 cm. Por 30 cm de longitud.

Para la prueba se debe seleccionar una olla apropiada; Se utiliza la olla de 3.5 litros, utilice 2.5 litros de agua para cada fase.

- Se alimenta la cocina con leña de forma que se intente lograr la ebullición del agua de la olla en el menor tiempo posible.
- Una vez que se el agua ha comenzado a hervir y la temperatura del termómetro muestra los 100°C, se anota la hora de finalizado de la fase 1, y se retira ella olla del fuego.
- Pesado final de la fase uno.
 - a. Se pesa la olla con el agua.
 - b. Se pesa la leña sobrante.
 - c. Se pesa la leña que ha quedado semiquemada.
 - d. Se pesa el carbón y las cenizas que han quedado en la cámara de combustión.
 - e. Con la toma de estos valores se da finalizada la fase 1, también llamada fase inicio frio.
- **Fase inicio caliente.**

Se repite la prueba anterior aprovechando la leña semiquemada que quedó y despreciando el carbón restante. Se lleva nuevamente a ebullición.

- Se introduce la leña semiquemada en el interior de la cámara de combustión.
- Se añaden 3 o 4 palos adicionales, dependiendo de la cantidad de leña semiquemada restante.
- El valor del combustible inicial de la fase será el mismo que el valor del combustible final de la fase 1.
- Se vacía la olla con el agua caliente y se vuelve a rellenar con agua a temperatura ambiente (de la cual tomamos su temperatura)
- Se anota la hora de encendido, hora de inicio ($t_{ci\ 2}$) que es el momento en el que la madera empieza a arder por sí misma aprox. 1 min, y se coloca la olla y en su interior la sonda del termómetro.
- Se alimenta de combustible la cocina de manera que llegue a ebullición lo más rápido posible.
- Una vez que el agua alcance el punto de ebullición se anotará el tiempo de finalizado de la fase 2 ($t_{cf\ 2}$), el peso de la olla con el agua restante ($P1_{cf\ 2}$), la leña semiquemada (f_{cf}) y la leña restante ($C_{c\ 2}$). En este último punto no es necesaria el pesado de la ceniza ni el carbón, que se quedarán dentro de

la cámara de combustión. Con estos pasos se dará por concluida la fase 2 de la prueba.

- **Fase tres, hervido durante 45 minutos.**

El objetivo de esta prueba será el de mantener el agua en ebullición constante durante 45 minutos. Esto quiere decir que la temperatura medida en la sonda del termómetro debe de estar entre los límites del punto de ebullición $\pm 3^{\circ}\text{C}$. Se trata de un hervido a baja potencia, por lo cual se intentará mantener la temperatura en este límite utilizando la menor cantidad de leña posible.

- De la manera más rápida posible se vuelve a introducir la leña semi quemada en la cámara de combustión, así como un palo de leña adicional si fuera necesario.
- Se coloca la misma olla con agua de la fase anterior en la hornilla de la cocina y se vuelve a instalar la sonda. Se anotará la hora de inicio de la fase 3 (t_{ci3}).
- Se alimenta la cocina de forma constante para mantener la temperatura entre los valores establecidos hasta que pasen 45 minutos.
- Pasado ese tiempo, se dará una conclusión respecto al comportamiento del horno ecológico.

- **Consideraciones importantes para la prueba**

1. El sistema de cocción incluye una estufa, combustible, una olla y un operador. Los cuatro afectan el rendimiento del sistema.
2. Ninguna prueba debe requerir que la estufa realice una tarea que no se llevaría a cabo durante su funcionamiento normal.
3. Se debe utilizar la misma cantidad de combustible y olla para cada prueba si desea comparar diseños o estufas. Sin embargo, nunca se debe utilizar un combustible o una olla para una estufa que no fue diseñada para eso.
4. El funcionamiento de la estufa tiene un gran efecto sobre el resultado de las pruebas de rendimiento. Todas las pruebas de una sola estufa, y todas las pruebas para evaluar las mejoras en el diseño, se deben hacer con el funcionamiento coherente de la estufa. Documentar la operación con los procedimientos escritos, fotos.

3.3.5. Parámetros de construcción del horno ecoeficiente.

Los pasos siguientes evidencian la construcción del horno ecoeficiente, desde la preparación del terreno donde se adecuara, siguiendo por los materiales y herramientas que se usaran, hasta llegar a los planos y fotos de apoyo que permiten al lector tener una aproximación más acertada de la construcción total de la estufa.

El diseño final del horno ecoeficiente fue determinado teniendo en cuenta todas las problemáticas de la estufa existente en la fundación, entre las que resaltan una inadecuada cámara de combustión y la falta de un ducto de escape, principal causa de enfermedades respiratorias y oculares. Para obtener un diseño funcional que cumpla con las expectativas de eficiencia fue necesario investigar varias estufas construidas en países como Nicaragua, Guatemala y México, con el fin de seleccionar de cada una el valor agregado que aporta a la preparación de los alimentos y la salubridad de las personas. Este análisis también permitió dimensionar el horno ecoeficiente que se construyó en la fundación Kiryos pudiendo así cubrir las necesidades particulares de los cocineros.

- **Herramientas para la construcción del horno**

Pala.
 Recipiente de plástico.
 Nivelador.
 Llana.
 Espátula.
 Flexómetro.
 Martillo.
 Cíncel.
 Martillo.

- **Materiales utilizados para construcción del horno ecoeficiente**

Ladrillo refractario.....	70
Ladrillo tolete.....	236
Bultos de cemento	5
Tubo para ducto de escape.....	1
Tapas de hierro para cámaras de combustión.....	2
Tapas de hierro para cámaras de ventilación.....	2
Chimenea tipo cono hecha en aluminio.....	1
Rejillas.....	2
Varilla.....	1
Arena.....	180 paladas
Greda para construcción de ductos.....	
Tubo para ducto de escape.....	1
Chimenea tipo cono echa en aluminio.....	1
Rejillas para cámara de combustión.....	2
Tapas para cámaras de combustión.....	2

- **Preparación del piso y construcción de paredes externas**

La estufa tendrá las siguientes dimensiones (190 x 140 x 90) cm, el área se debe preparar aplanando el terreno y sobre él, aplicar una base de cemento para asegurar la planicidad. Luego de este paso, se construyen las paredes externas utilizando los ladrillos tolete de (24 x 12 x 6) cm, como se ven en la figura 12. Para unir los ladrillos se utiliza cemento, depositado en los espacios de 2 cm.

Figura 12. Base Principal. (Autores)



Para terminar la primera fase se coloca otra hilera de ladrillos, obteniendo una altura de 20 cm necesaria para iniciar la construcción de las cámaras de combustión. Sobre el perímetro se construye la pared con los ladrillos hasta alcanzar una altura de 90 cm (a excepción de la parte frontal del horno donde están las cámaras de combustión), ver figura 13.

La construcción interna tiene una altura de 45 cm, desde la base principal y se realizó para poder construir los ductos de escape ver figura 13. La parte interna está cubierta de greda y la placa de cemento tiene un espesor de 5 cm.

Figura 13. Perímetro terminado con base para ductos de escape. (Autores)

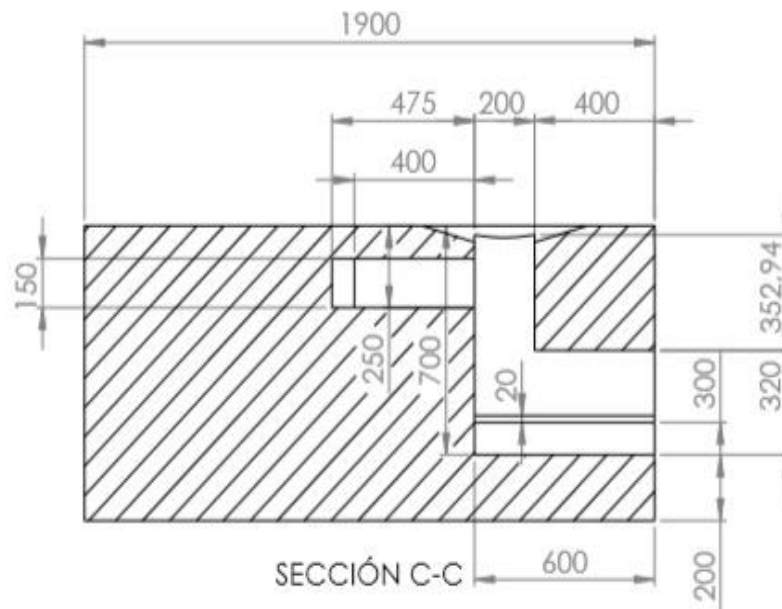


- **Construcción de las cámaras de combustión**

Para la construcción de las dos cámaras de combustión, se utiliza el ladrillo refractario de (24 x 12 x 6) cm. Los planos de las cámaras se ven detalladamente en la figura 14. Para la unión de los ladrillos se utiliza cemento.

Los ladrillos (bocadillo) que se utilizan para la construcción de las paredes que conforman el perímetro de la estufa deben ser modificados garantizando los 12 cm de ancho de los ladrillos refractarios; de esta manera la transferencia de energía en forma de calor sea mínima entre el sistema y sus alrededores.

Figura 14. Sección cámara de combustión. Fuente (Autores).

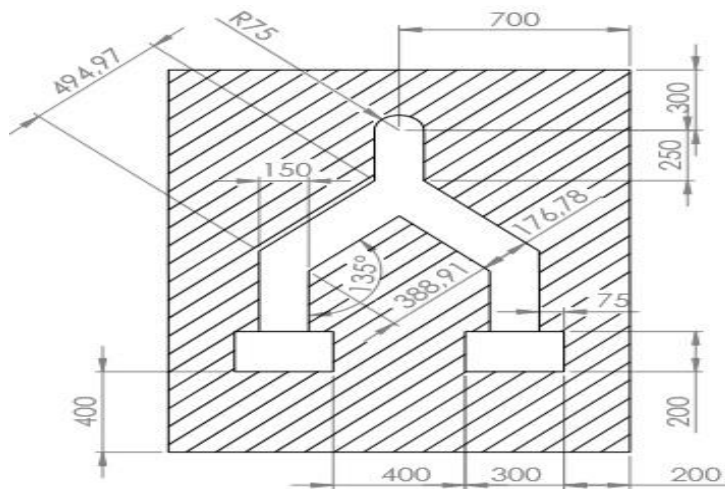


La figura 16 muestra la forma en que se posicionan los ladrillos para conformar la cámara de combustión; este es el motor de la estufa, es donde la leña se quemará, por este motivo se debe asegurar la correcta unión de los ladrillos (no dejar espacios abiertos) y verificar que las dimensiones concuerden para que haya buena ventilación, permitiendo que todos los gases efecto de la pirolisis se quemen y no generen humo.

- **Construcción de los ductos de escape**

Los ductos de escape son una parte importante del horno ecoeficiente, permiten que los gases sobrantes del proceso de combustión salgan sin generar contaminación en el ambiente, colaborando con la salud de los habitantes de la fundación que preparan los alimentos ver figura 15.

Figura 15. Vista superior de ducto de escape. (Autores).



La vista superior de los ductos de escape contiene todas las medidas necesarias para una construcción adecuada. El maestro de obra y los participantes del proyecto deben verificar las medidas utilizando instrumentos como, flexómetros, transportador para verificar los ángulos, niveladores y escuadras.

La figura 16 determina la altura a la cual se construyen los ductos de escape y en qué punto coinciden con la cámara de combustión.

Figura 16. Imagen ductos de escape en construcción. Fuente (Autores).



Los ladrillos se colocan sobre el perímetro que conforman los ductos de escape. La imagen muestra los ladrillos refractarios en la parte del frente, estos aseguran el

cubrimiento del perímetro de las dos C.C. en su totalidad. No es importante tener ladrillos refractarios sobre la parte trasera ya que los gases expulsados no son necesarios a altas temperaturas.

- **Construcción de la chimenea**

El primer paso es la construcción del ducto vertical el cual se realiza en lamina con espesor de 2 mm sección cuadrada de (20 x 20) cm con una longitud de 1,90 m de altura para garantizar que el humo producto de la pirolisis sea expulsado fuera del lugar de preparación de los alimentos.

Figura 17. Horno con la chimenea. Fuente (Autores).



- **Horno ecoeficiente terminado**

La vista frontal del horno ecoeficiente permite ver las dos cámaras de combustión cuyo interior está conformado por los ladrillos refractarios, la distancia de separación entre el horno y la estufa antigua permite que la madera a utilizar como combustible sea larga y pueda ser empujada evitando el calor producido en la cámara. En la parte superior el mesón de concreto se construyó para que las personas encargadas de la cocina puedan hacer la preparación previa de los alimentos.

Figura 18. Horno ecoeficiente terminado. Fuente (Autores)



4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

A continuación se consigna los datos obtenidos en las pruebas de WTB, realizadas al horno construido y a la estufa antigua. Para el análisis fue necesario realizar dos pruebas al horno y estufa antigua, determinando un promedio el cual otorga una mayor confiabilidad en los datos.

Con este valor promedio se hacen los cálculos de las variables y así poder arrojar los resultados importantes como lo son velocidad de combustión, eficiencia térmica, potencia de fuego y consumo específico de combustible. Las imágenes que se ven a continuación determinan la evidencia de las pruebas realizadas.

Para el inicio de la prueba se alisto la madera en cantidades de 5 Kg previamente pesadas ver figura 19, de esta manera se facilita el desarrollo de la prueba.

Figura 19. Madera lista para la prueba. Fuente (Autores).



En la olla se vierte 2,5 L de agua para el inicio de cada prueba, esta se pesa para determinar la cantidad exacta y a la hora de realizar los cálculos el peso de la olla sin agua debe estar consignado. En la figura 16 se observa la olla con los 2,5 L de agua sobre la báscula. El reloj marca 2950 gr determinado de la siguiente manera; 2500 gr correspondientes a la cantidad de agua necesaria para la prueba y 450 gr que es el peso de la olla.

Figura 20. Agua pesada para inicio de cada prueba. Fuente (Autores).



Al llevar el agua hasta el punto de ebullición en todas las pruebas se tomó el tiempo de finalización de cada prueba resultados que se pueden observar en el ítem datos obtenidos en las pruebas. Con la termocupla fluck se hace un monitoreo del agua buscando los 100 °C, temperatura en que el agua hierve, la figura 21 muestra el dato de temperatura (antes de la ebullición). Después de cada prueba se recoge la ceniza y se pesa figura 22, este mismo proceso se hace para la madera que no se utiliza en la prueba.

Figura 21. Temperatura tomada durante la prueba. Fuente (Autores).



4.1. DATOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS

Tabla 4. Valores de primera prueba en horno. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA							
FECHA:	08/02/2016			NUMERO DE PRUEBA HORNO			1
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV	29800
						LHV quem	29800
			SÍMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO		PRUEBA INICIO CALIENTE	FUEGO LENTO 45 MIN
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo período inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo período final de la prueba (min)			t_{cf}	35		32	45
Masa de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	5000		2000	
Masa de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	2000		300	
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{1ci}	23		23	
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{1cf}	100		100	
Masa de agua con agua antes de la prueba (qr)			P_{1ci}	2950		2950	
Masa de agua con agua después de la prueba (qr)			P_{1cf}	2500		2600	
Masa combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1100		1070	
Masa de combustible húmeda (qr)			$M_{comb/hum}$	Las datarzo obtienen poniendo azúcar 1Kg de madera en un horno, una vez seco se para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Masa de combustible seca (qr)			$M_{comb/seco}$				930

Tabla 5. Valores de segunda prueba en horno. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA							
FECHA:	08/02/2016			NUMERO DE PRUEBA HORNO			2
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV <i>R3/KB</i>	29800
						LHV quom <i>R3/KB</i>	29800
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO		PRUEBA INICIO CALIENTE	FUEGO LENTO 45 MIN
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo período inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo período final de la prueba (min)			t_{cf}	32		30	45
Masa de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	5000		2200	
Masa de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	2200		500	
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{1ci}	23		23	
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{1cf}	100		100	
Masa de olla con agua antes de la prueba (qr)			$P1_{ci}$	2950		2950	
Masa de olla con agua después de la prueba (qr)			$P1_{cf}$	2550		2600	
Masa combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1120		1060	
Masa de combustible húmeda (qr)			$m_{comb/humida}$	Las datarzo obtienen poniendo a secar 1Kg de madera en un horno, una vez se cae para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Masa de combustible seca (qr)			$m_{comb/seca}$				930

Tabla 6. Valores promedio prueba inicio frio en horno. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA VALOR PROMEDIO HORNO							
FECHA:	08/02/2016			VALOR PROMEDIO HORNO PRUEBA INICIO FRIO			
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (K)	296	Poder calorífico inferior LHV KJ/Kg	29800
						LHV quem KJ/Kg	25000
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO 1		PRUEBA INICIO FRIO 2	VALOR PROMEDIO
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo por cada inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo por cada final de la prueba (min)			t_{cf}	35		32	33,5
Mara de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	5000		5000	5000
Mara de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	2000		2200	2100
Temperatura agua al inicio de la prueba (K)			T_{1ci}	296		296	296
Temperatura agua al final de la prueba (K)			T_{1cf}	373		373	373
Mara de olla con agua antes de la prueba (qr)			$P1_{ci}$	2450		2450	2450
Mara de olla con agua después de la prueba (qr)			$P1_{cf}$	2500		2600	2550
Mara combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1100		1060	1080
Mara de combustible húmeda (qr)			$H_{comb}/húmeda$	Las datarzo obtienen poniendo azucar 1Kg de madera en un horno, una vez cocido para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Mara de combustible seca (qr)			$H_{comb}/seca$				930

Tabla 7. Valores promedio prueba inicio caliente en horno. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA VALOR PROMEDIO HORNO							
FECHA:	08/02/2016			VALOR PROMEDIO HORNO PRUEBA INICIO CALIENTE			
PESO OLLAP1(qr)	450	recipiente de mara K(qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV KJ/kg	29800
						LHVquem KJ/kg	29800
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO CALIEN. 1		PRUEBA INICIO CALIEN. 2	VALOR PROMEDIO
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo período inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo período final de la prueba (min)			t_{cf}	32		30	31
Mara de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	2000		2200	2100
Mara de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	300		500	400
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{ci}	23		23	23
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{cf}	100		100	100
Mara de olla con agua antes de la prueba (qr)			P_{ci}	2950		2950	2950
Mara de olla con agua después de la prueba (qr)			P_{cf}	2600		2600	2600
Mara combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1070		1060	1065
Mara de combustible húmeda (qr)			M_{hum}/m_{seco}	Las datarzo obtienen poniendo azúcar 1Kg de madora en un horno, una vez se cazo por y se compara la diferencia respecto al kilograma de madora húmeda.			1000
Mara de combustible seco (qr)			M_{seco}/m_{seco}				930

Tabla 8. Valores de primera prueba en estufa antigua. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA							
FECHA:	08/02/2016			NUMERO DE PRUEBA ESTUFA ANTIGUA			1
PESO OLLAP1 (qr)	450	recipiente de mara K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV	29800
						LHV quem	29800
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO		PRUEBA INICIO CALIENTE	FUEGO LENTO 45 MIN
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo período inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo período final de la prueba (min)			t_{cf}	29		25	45
Mara de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	5000		2000	
Mara de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	2000		0	
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{ci}	23		23	
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{cf}	100		100	
Mara de olla con agua antes de la prueba (qr)			P_{ci}	2950		2950	
Mara de olla con agua después de la prueba (qr)			P_{cf}	2300		2400	
Mara combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1250		1200	
Mara de combustible húmeda (qr)			$M_{comb/humedo}$	Las dotarzo abtieron poniendo azucar 1Kg de madora en un harna, una voz zoca zo para yzo campara la diferenciar respecta al kilagrama de madora húmeda.			1000
Mara de combustible zoca (qr)			$M_{comb/yeso}$				930

Tabla 9. Valores de segunda prueba en estufa antigua. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA							
FECHA:	08/02/2016			NUMERO DE PRUEBA ESTUFA ANTIGUA			2
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV <i>83/100</i>	29800
						LHV quem <i>83/100</i>	29800
			SÍMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO		PRUEBA INICIO CALIENTE	FUEGO LENTO 45 MIN
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo perñada inicial de la prueba (min)			<i>t_{ci}</i>	0		0	0
Tiempo perñada final de la prueba (min)			<i>t_{cf}</i>	28		24	45
Mara de combustible antes de la prueba (qr)			<i>f_{ci}</i>	5000		1950	
Mara de combustible después de la prueba (qr)			<i>f_{cf}</i>	1950		0	
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			<i>T_{ci}</i>	23		23	
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			<i>T_{cf}</i>	100		100	
Mara de agua con agua antes de la prueba (qr)			<i>P_{1ci}</i>	2950		2950	
Mara de agua con agua después de la prueba (qr)			<i>P_{1cf}</i>	2400		2400	
Mara combustible con el plato después de la prueba (qr)			<i>C_c</i>	1250		1200	
Mara de combustible húmeda (qr)			<i>M_{comb/húmeda}</i>	Las datarzo obtienen poniendo azúcar 1Kg de madera en un horno, una vez se cae para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Mara de combustible seca (qr)			<i>M_{comb/seca}</i>				930

Tabla 10. Valores promedio prueba en estufa antigua inicio frio. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA VALOR PROMEDIO ESTUFA ANTIGUA							
FECHA:	08/02/2016			VALOR PROMEDIO ESTUFA ANTIGUA INICIO FRIO			
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV <i>kJ/kg</i>	29800
						LHV quem <i>kJ/kg</i>	29800
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO FRIO 1		PRUEBA INICIO FRIO 2	VALOR PROMEDIO
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo porada inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo porada final de la prueba (min)			t_{cf}	29		28	28,5
Masa de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	5000		5000	5000
Masa de combustible después de la prueba (qr)			f_{cf}	2000		1950	1975
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{1ci}	23		23	23
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{1cf}	100		100	100
Masa de agua con agua antes de la prueba (qr)			P_{1ci}	2950		2950	2950
Masa de agua con agua después de la prueba (qr)			P_{1cf}	2300		2400	2350
Masa combustible con el plato después de la prueba (qr)			C_c	1250		1250	1250
Masa de combustible húmeda (qr)			$M_{comb/humedo}$	Las dotar se obtienen poniendo azúcar 1Kg de madera en un horno, una vez se caza para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Masa de combustible seca (qr)			$M_{comb/seco}$				930

Tabla 11. Valores promedio prueba en estufa antigua inicio caliente. Fuente (Autores).

HOJA PARA TOMA DE DATOS DE EVALUACION TERMICA VALOR PROMEDIO ESTUFA ANTIGUA							
FECHA:	08/02/2016			VALOR PROMEDIO ESTUFA ANTIGUA INICIO CALIENTE			
PESO OLLA P1 (qr)	450	recipiente de marca K (qr)	1000	Temperatura amb (°C)	25	Poder calorífico inferior LHV <i>KJ/kg</i>	29800
						LHV quem <i>KJ/kg</i>	29800
			SIMBOLO	PRUEBA INICIO CALIEN 1		PRUEBA INICIO CALIEN 2	VALOR PROMEDIO
VARIABLES QUE SE MIDEN DIRECTAMENTE				RESULTADOS		RESULTADOS	RESULTADOS
Tiempo porfada inicial de la prueba (min)			t_{ci}	0		0	0
Tiempo porfada final de la prueba (min)			t_{cf}	25		24	24,5
Mara de combustible antes de la prueba (qr)			f_{ci}	2000		1950	1975
Mara de combustible despues de la prueba (qr)			f_{cf}	0		0	0
Temperatura agua al inicio de la prueba (°C)			T_{ci}	23		23	23
Temperatura agua al final de la prueba (°C)			T_{cf}	100		100	100
Mara de olla con agua antes de la prueba (qr)			$P1_{ci}$	2950		2950	2950
Mara de olla con agua despues de la prueba (qr)			$P1_{cf}$	2400		2400	2400
Mara combustible con el plato despues de la prueba (qr)			C_c	1200		1200	1200
Mara de combustible húmeda (qr)			$M_{comb(hum)}^{(qr)}$	Las datarzo obtienen poniendo a secar 1Kg de madera en un horno, una vez seco para y se compara la diferencia respecto al kilogramo de madera húmeda.			1000
Mara de combustible seco (qr)			$M_{comb(seco)}^{(qr)}$				930

4.2. VARIABLES A CALCULAR

4.2.1. Cálculo de variables para el horno prueba inicio frio.

Para este análisis se tiene en cuenta los valores promedio de la tabla 3.

Calculo del combustible consumido, donde:

$$f_{cm} = (5000 - 2100) \text{ gr}$$

$$f_{cm} = 2900 \text{ gr}$$

Ahora determinamos el carbón no consumido en la combustión:

$$\Delta_{cc} = (1080 - 1000) \text{ gr}$$

$$\Delta_{cc} = 80 \text{ gr}$$

Ecuación para el cálculo del agua que se evapora en la olla:

$$W_{cv} = (2950 - 2550) \text{ gr}$$

$$W_{cv} = 400 \text{ gr}$$

La masa efectiva de agua, indica la cantidad de agua que logro llevarse a ebullición si evaporarse, donde:

$$W_{cr} = (2550 - 450) \text{ gr}$$

$$W_{cr} = 2100 \text{ gr}$$

Tiempo que tarda la prueba:

$$\Delta t_c = (33.5 - 0) \text{ min}$$

$$\Delta t_c = 33.5 \text{ min}$$

Ahora se calcula la madera seca equivalente consumida para la cual se tienen en cuenta tres variables, combustible seco, combustible para evaporar el agua y combustible no quemado. Después de realizar el respectivo despeje de las ecuaciones 13, 14 y 16 se encuentra la ecuación 17, entonces:

$$f_{cd} = \frac{2900 \text{ gr} \left(28900 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (1 - 0.07) - 0.07 \left(4,186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} (373 - 298) K + 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) \right) - 80 \text{ gr} * 25000 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{77943300 \text{ gr} \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 63713 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 458171 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 2000000 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (77943300 \text{ gr} - 63713 \text{ gr} - 458171 \text{ gr} - 2000000 \text{ gr})}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = 2530.92 \text{ gr}$$

El cálculo de la eficiencia térmica del horno es necesario porque Se trata de una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera. El primer paso es calcular la energía necesaria para calentar el agua, tomando la ecuación 19 como referencia:

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = (2950 - 450) \text{ gr} * 4.186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} * (373 - 298) K$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = 784875 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Ahora se determina la energía para evaporar el agua teniendo en cuenta la ecuación 20, donde:

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 400 \text{ gr} * 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 902800 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Para poder determinar la eficiencia es necesario determinar la tercera variable; la energía consumida, ecuación 22:

$$E_{consumida} = 2530.92 \text{ gr} * 29800 \text{ Kj/Kg}$$

$$E_{consumida} = 75394000 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}$$

$$h_c = \frac{784875 \text{ gr} * \text{Kj/Kg} + 902800 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}}{75394000 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}}$$

$$h_c = 2.23 \%$$

El siguiente cálculo es la velocidad de combustión, Esta es una medida de la tasa de consumo de combustible, con la que el agua hierve. Donde:

$$r_{cb} = \frac{2530.92 \text{ gr}}{33.5 \text{ min}}$$

$$r_{cb} = 75.55 \text{ gr/min}$$

El cálculo del consumo específico de combustible es necesario para determinar la cantidad de madera necesaria para hervir una unidad de agua en la prueba WBT, se utiliza la ecuación xx:

$$S_{cc} = \frac{2530.92 \text{ gr}}{2100 \text{ gr}}$$

$$S_{cc} = 1.20 \text{ gr}$$

Por último el cálculo de la potencia de fuego, esta Cuenta la potencia media de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia, donde:

$$F_{pc} = \frac{2.530 \text{ Kg} * 29800 \text{ Kj/Kg} * 1 \text{ min}}{33.5 \text{ min} * 60 \text{ s}}$$

$$F_{pc} = 37.50 \text{ KWatt}$$

4.2.2. Cálculo de variables para el horno prueba inicio caliente.

Para este análisis se tiene en cuenta los valores promedio de la tabla 4.

Cálculo del combustible consumido, donde:

$$f_{cm} = (2100 - 400) \text{ gr}$$

$$f_{cm} = 1700 \text{ gr}$$

Ahora determinamos el carbón no consumido en la combustión:

$$\Delta_{cc} = (1065 - 1000) \text{ gr}$$

$$\Delta_{cc} = 65 \text{ gr}$$

Fórmula para el cálculo del agua que se evapora en la olla:

$$W_{cv} = (2950 - 2600) \text{ gr}$$

$$W_{cv} = 350 \text{ gr}$$

La masa efectiva de agua, indica la cantidad de agua que logro llevarse a ebullición si evaporarse, donde:

$$W_{cr} = (2600 - 450) \text{ gr}$$

$$W_{cr} = 2150 \text{ gr}$$

Tiempo que tarda la prueba:

$$\Delta t_c = (31 - 0) \text{ min}$$

$$\Delta t_c = 31 \text{ min}$$

Ahora se calcula la madera seca equivalente consumida para la cual se tienen en cuenta tres variables, combustible seco, combustible para evaporar el agua y combustible no quemado. Después de realizar el respectivo despeje de las ecuaciones 13, 14 y 16 se encuentra la ecuación 17, entonces:

$$f_{cd} = \frac{1700 \text{ gr} \left(28900 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (1 - 0.07) - 0.07 \left(4,186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} (373 - 298) K + 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) \right) - 65 \text{ gr} * 25000 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{45690900 \text{ gr} \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 37360.05 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 268583 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 1625000 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (45690900 \text{ gr} - 37360.05 \text{ gr} - 268583 \text{ gr} - 1625000 \text{ gr})}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = 1514.18 \text{ gr}$$

El cálculo de la eficiencia térmica del horno es necesario porque Se trata de una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera. El primer paso es calcular la energía necesaria para calentar el agua, tomando la ecuación 19 como referencia:

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = (2950 - 450) \text{ gr} * 4.186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} * (373 - 298) K$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = 784875 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Ahora se determina la energía para evaporar el agua teniendo en cuenta la ecuación 20, donde:

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 350 \text{ gr} * 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 787500 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Para poder determinar la eficiencia es necesario determinar la tercera variable; la energía consumida, ecuación 22:

$$E_{consumida} = 1514.18 \text{ gr} * 29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$E_{consumida} = 43759802 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_c = \frac{784875 \text{ gr} * \text{Kj/Kg} + 787500 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}}{43759802 \text{ Kj/Kg}}$$

$$h_c = 3.6 \%$$

El siguiente cálculo es la velocidad de combustión, Esta es una medida de la tasa de consumo de combustible, con la que el agua hierve. Donde:

$$r_{cb} = \frac{1514.18 \text{ gr}}{31 \text{ min}}$$

$$r_{cb} = 48.84 \text{ gr/min}$$

El cálculo del consumo específico de combustible es necesario para determinar la cantidad de madera necesaria para hervir una unidad de agua en la prueba WBT, se utiliza la ecuación xx:

$$S_{cc} = \frac{1514.18 \text{ gr}}{2150 \text{ gr}}$$

$$S_{cc} = 0.70 \text{ gr}$$

Por último el cálculo de la potencia de fuego, esta Cuenta la potencia media de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia, donde:

$$F_{pc} = \frac{1.514 \text{ Kg} * 29800 \text{ Kj/Kg} * 1 \text{ min}}{31 \text{ min} * 60 \text{ s}}$$

$$F_{pc} = 24.25 \text{ KWatt}$$

4.2.3. Cálculo de variables para la estufa antigua prueba inicio frio.

Para este análisis se tiene en cuenta los valores promedio de la tabla 7.

Calculo del combustible consumido, donde:

$$f_{cm} = (5000 - 1975) \text{ gr}$$

$$f_{cm} = 3025 \text{ gr}$$

Ahora determinamos el carbón no consumido en la combustión:

$$\Delta_{cc} = (1250 - 1000) \text{ gr}$$

$$\Delta_{cc} = 250 \text{ gr}$$

Fórmula para el cálculo del agua que se evapora en la olla:

$$W_{cv} = (2950 - 2350) \text{ gr}$$

$$W_{cv} = 600 \text{ gr}$$

La masa efectiva de agua, indica la cantidad de agua que logro llevarse a ebullición sin evaporarse, donde:

$$W_{cr} = (2350 - 450) \text{ gr}$$

$$W_{cr} = 1900 \text{ gr}$$

Tiempo que tarda la prueba:

$$\Delta t_c = (28.5 - 0) \text{ min}$$

$$\Delta t_c = 28.5 \text{ min}$$

Ahora se calcula la madera seca equivalente consumida para la cual se tienen en cuenta tres variables, combustible seco, combustible para evaporar el agua y combustible no quemado. Después de realizar el respectivo despeje de las ecuaciones 13, 14 y 16 se encuentra la ecuación 17, entonces:

$$f_{cd} = \frac{3025 \text{ gr} \left(28900 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (1 - 0.07) - 0.07 \left(4,186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} (373 - 298) K + 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) \right) - 250 \text{ gr} * 25000 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{83990625 \text{ gr} \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 68676.56 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 493718.75 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 6250000 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (83990625 \text{ gr} - 68676.56 \text{ gr} - 493718.75 \text{ gr} - 6250000 \text{ gr})}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = 2590 \text{ gr}$$

El cálculo de la eficiencia térmica del horno es necesario porque Se trata de una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera. El primer paso es calcular la energía necesaria para calentar el agua, tomando la ecuación 19 como referencia:

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = (2950 - 450) \text{ gr} * 4.186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} * (373 - 298) K$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = 784875 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Ahora se determina la energía para evaporar el agua teniendo en cuenta la ecuación 20, donde:

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 600 \text{ gr} * 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 1354200 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Para poder determinar la eficiencia es necesario determinar la tercera variable; la energía consumida, ecuación 22:

$$E_{consumida} = 2590 \text{ gr} * 29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$E_{consumida} = 77182000 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_c = \frac{784875 \text{ gr} * \text{Kj/Kg} + 1354200 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}}{77182000 \text{ Kj/Kg}}$$

$$h_c = 2.77 \%$$

El siguiente cálculo es la velocidad de combustión, Esta es una medida de la tasa de consumo de combustible, con la que el agua hierve. Donde:

$$r_{cb} = \frac{2590 \text{ gr}}{28.5 \text{ min}}$$

$$r_{cb} = 90.87 \text{ gr/min}$$

El cálculo del consumo específico de combustible es necesario para determinar la cantidad de madera necesaria para hervir una unidad de agua en la prueba WBT, se utiliza la ecuación xx:

$$S_{cc} = \frac{2590 \text{ gr}}{1900 \text{ gr}}$$

$$S_{cc} = 1.36 \text{ gr}$$

Por último el cálculo de la potencia de fuego, esta Cuenta la potencia media de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia, donde:

$$F_{pc} = \frac{2.590 \text{ Kg} * 29800 \text{ Kj/Kg} * 1 \text{ min}}{28.5 \text{ min} * 60 \text{ s}}$$

$$F_{pc} = 45.13 \text{ KWatt}$$

4.2.4. Cálculo de variables para la estufa antigua prueba inicio caliente

Para este análisis se tiene en cuenta los valores promedio de la tabla 8.

Calculo del combustible consumido, donde:

$$f_{cm} = (1975 - 0) \text{ gr}$$

$$f_{cm} = 1975 \text{ gr}$$

Ahora determinamos el carbón no consumido en la combustión:

$$\Delta_{Cc} = (1200 - 1000) \text{ gr}$$

$$\Delta_{Cc} = 200 \text{ gr}$$

Fórmula para el cálculo del agua que se evapora en la olla:

$$W_{cv} = (2950 - 2400) \text{ gr}$$

$$W_{cv} = 550 \text{ gr}$$

La masa efectiva de agua, indica la cantidad de agua que logro llevarse a ebullición sin evaporarse, donde:

$$W_{cr} = (2400 - 450) \text{ gr}$$

$$W_{cr} = 1950 \text{ gr}$$

Tiempo que tarda la prueba:

$$\Delta t_c = (29 - 0) \text{ min}$$

$$\Delta t_c = 24.5 \text{ min}$$

Ahora se calcula la madera seca equivalente consumida para la cual se tienen en cuenta tres variables, combustible seco, combustible para evaporar el agua y combustible no quemado. Después de realizar el respectivo despeje de las ecuaciones 13, 14 y 16 se encuentra la ecuación 17, entonces:

$$f_{cd} = \frac{1975 \text{ gr} \left(28900 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (1 - 0.07) - 0.07 \left(4,186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} (373 - 298) K + 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} \right) \right) - 200 \text{ gr} * 25000 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{53082075 \text{ gr} \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 43403.58 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 312030.25 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} - 5000000 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = \frac{\frac{\text{Kj}}{\text{Kg}} (53082075 \text{ gr} - 43403.58 \text{ gr} - 312030.25 \text{ gr} - 5000000 \text{ gr})}{29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}}$$

$$f_{cd} = 1601.56 \text{ gr}$$

El cálculo de la eficiencia térmica del horno es necesario porque Se trata de una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua en la olla. Se calcula de la siguiente manera. El primer paso es calcular la energía necesaria para calentar el agua, tomando la ecuación 19 como referencia:

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = (2950 - 450) \text{ gr} * 4.186 \frac{\text{Kj}}{\text{KgK}} * (373 - 298) K$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ caliente}} = 784875 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Ahora se determina la energía para evaporar el agua teniendo en cuenta la ecuación 20, donde:

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 550 \text{ gr} * 2257 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$\Delta E_{H_2O \text{ evaporado}} = 1241350 \text{ gr} * \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

Para poder determinar la eficiencia es necesario determinar la tercera variable; la energía consumida, ecuación 22:

$$E_{consumida} = 1601.56 \text{ gr} * 29800 \frac{\text{Kj}}{\text{Kg}}$$

$$E_{consumida} = 47726641.17 \text{ Kj/Kg}$$

$$h_c = \frac{784875 \text{ gr} * \text{Kj/Kg} + 1241350 \text{ gr} * \text{Kj/Kg}}{47726641.17 \text{ Kj/Kg}}$$

$$h_c = 4.2 \%$$

El siguiente cálculo es la velocidad de combustión, Esta es una medida de la tasa de consumo de combustible, con la que el agua hierve. Donde:

$$r_{cb} = \frac{1601.56 \text{ gr}}{24.5 \text{ min}}$$

$$r_{cb} = 65.37 \text{ gr/min}$$

El cálculo del consumo específico de combustible es necesario para determinar la cantidad de madera necesaria para hervir una unidad de agua en la prueba WBT, se utiliza la ecuación xx:

$$S_{cc} = \frac{1601.56 \text{ gr}}{1950 \text{ gr}}$$

$$S_{cc} = 0.82 \text{ gr}$$

Por último el cálculo de la potencia de fuego, esta Cuenta la potencia media de la estufa (en vatios) durante la prueba de alta potencia, donde:

$$F_{pc} = \frac{1.601 \text{ Kg} * 29800 \text{ Kj/Kg} * 1 \text{ min}}{24.5 \text{ min} * 60 \text{ s}}$$

$$F_{pc} 32.45 \text{ KWatt}$$

Tabla 12. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).

RESULTADOS FINALES PRUEBA WBT				
Variables calculadas	Horno inicio frio	Horno inicio caliente	Estufa inicio frio	Estufa inicio caliente
Combustible consumido (gr)	2900	1700	3025	1975
Combustible no consumido (ceniza) (gr)	80	65	250	200
Agua evaporada (gr)	400	350	600	550
Agua hervida (gr)	2100	2150	1900	1950

El primer resultado corresponde al combustible consumido. Como se puede observar la prueba en el horno con inicio caliente solo necesito de 1700 gr de madera para llevar el agua a punto de ebullición a diferencia de la prueba en la estufa antigua inicio frio que requirió de 3025 gr para hervir el agua. Conservar la mayor cantidad de madera es vital para épocas de invierno y además evita la deforestación.

El segundo factor es el combustible no quemado o ceniza, es generada por el inadecuado proceso de combustión o pirolisis, mucho tiene que ver el diseño de las cámaras de combustión, la ventilación en la zona y la humedad de la madera. En la prueba de inicio caliente para el horno solo se retiró 65 gr promedio de ceniza a diferencia de los 250 y 200 gr en las pruebas de inicio frio y caliente respectivamente de la estufa antigua.

La pérdida de agua por evaporación es un dato no menos relevante. En la prueba de inicio caliente en el horno se evaporo la menor cantidad de agua como lo muestra la tabla 9 (350 gr), la perdida en las otras tres pruebas fue mayor lo que genera que al momento de preparar comidas las cantidades estipuladas por el cocinero no disminuirán tanto si se utiliza el horno ecológico, llevando una mayor cantidad de agua a ebullición (agua hervida).

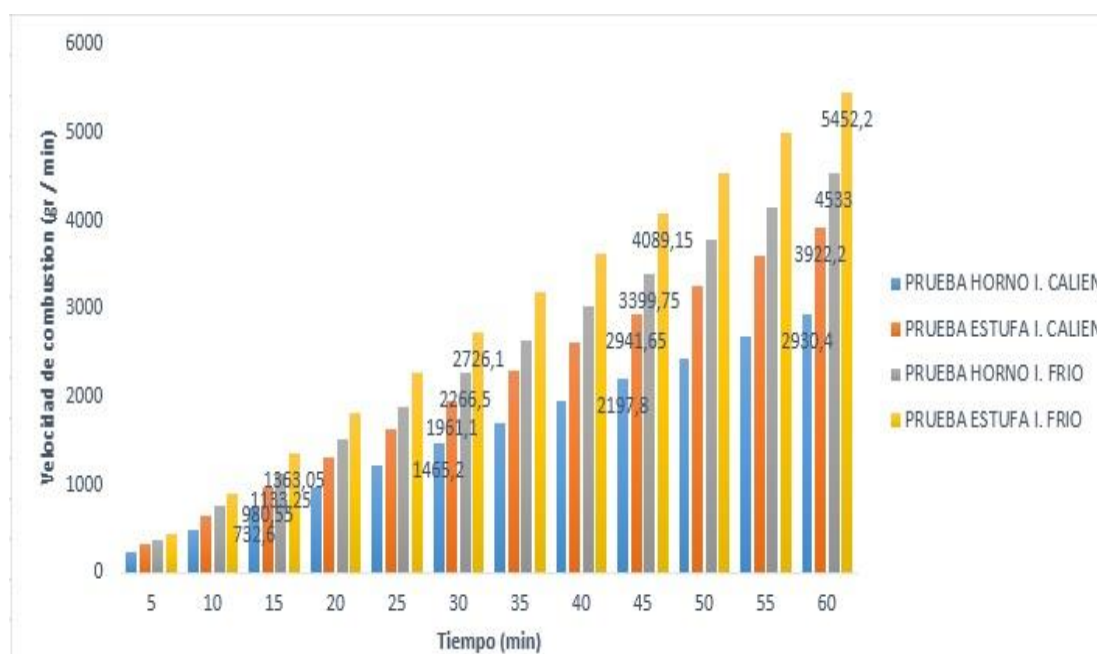
Tabla 13. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).

RESULTADOS FINALES PRUEBA WBT				
Variables calculadas	Horno inicio frio	Horno inicio caliente	Estufa inicio frio	Estufa inicio caliente
Tiempo de la prueba (min)	33,5	31	28,5	24,5
Madera seca consumida (gr)	2530,92	1514,18	2530	1601,56
Eficiencia termica (%)	2,23	3,6	2,77	4,2
Velocidad de combustion gr / min	75,55	48,84	90,87	65,37

Para las diferentes plantas, sistemas y equipos termodinámicos determinar la eficiencia permite tener una estimación de la energía total producida por el fuego que se utiliza para calentar el agua, en la prueba WBT el mayor valor fue registrado por la estufa antigua en la prueba de inicio caliente con un 4,2 %. El valor siguiente fue obtenido por el horno ecológico con un 3.6 %; para un análisis completo debe compararse los resultados de la eficiencia térmica con la velocidad de combustión, a pesar de que la mayor eficiencia la obtuvo la estufa antigua para llegar a esta fue necesario quemar 65,37 gr / min de madera y en el horno ecológico se necesitó de 48, 84 gr / min de madera para llevar los 2,5 L de agua a ebullición.

Una diferencia de 16,53 gr / min de madera que al multiplicarla por una hora de trabajo se estaría ahorrando 991,8 gr de madera importantes para evitar la tala indiscriminada de árboles. A continuación se observa la figura 23, que determina la cantidad de combustible quemado por minuto en las cuatro pruebas realizadas, arrojando que la menor cantidad de madera consumida en una hora de trabajo para preparar los alimentos en la fundación con un total de 2930,4 gr es el horno ecológico en su prueba de inicio caliente.

Figura 22. Combustible consumido en una hora de labor. Fuente (Autores).



La madera seca equivalente consumida es la cantidad de madera que se necesitó para llevar a ebullición el agua, este es otro factor que entrega un resultado de confiabilidad al momento de elegir el sistema con las mejores características. El horno ecológico fue el que menor cantidad de madera necesito para llevar el agua a ebullición con un promedio de 1514,18 gr. Es importante saber que las cámaras de

combustión a medida que sean utilizadas aumentaran su eficiencia debido a que la humedad en los ladrillos internos será nula.

Tabla 14. Resultados de prueba WBT. Fuente (Autores).

RESULTADOS FINALES PRUEBA WBT				
Variables calculadas	Horno inicio frio	Horno inicio caliente	Estufa inicio frio	Estufa inicio caliente
Consumo especifico de madera	1,2	0,7	1,36	0,82
Potencia de fuego (Kwatt)	37,5	24,25	45,13	32,45

El consumo especifico de combustible (madera) es un indicador que relaciona la cantidad de madera utilizada para llevar a ebullición el agua y el total de agua hervida, sin tener en cuenta el agua ya evaporada. Entre menor sea este valor, mejor rendimiento tiene el horno o estufa analizado, en la figura 24, se observa la cantidad de madera consumida en 370 días donde es notorio el ahorro que se obtendría con el horno.

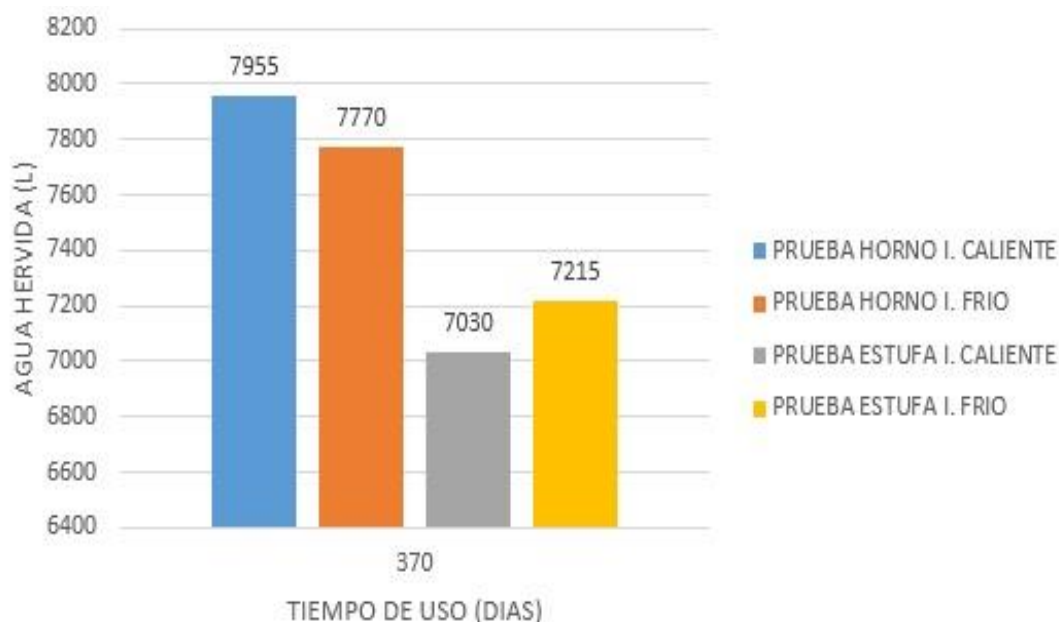
Figura 23. Pronostico cantidad de madera consumida en 370 días. Fuente (Autores).



El horno ecológico en la prueba de inicio caliente registro un 0,70 lo que muestra que fue el sistema que menor cantidad de madera necesito y el que mayor cantidad de agua hervida tuvo al final de la prueba, en la figura 25, se puede ver que al cabo de 370 días la estufa antigua tomando la prueba de inicio caliente llevaría a

ebullición 7030 L de agua, mientras le horno ecológico respondería con 7995 L; una diferencia de 65 L. este análisis se hace basándose en los resultados de la prueba WBT, pueden existir variaciones dependiendo de factores como cantidad de comida preparada, tiempo en que el horno este encendido etc.

Figura 24. Pronostico cantidad de agua hervida en 370 días. Fuente (Autores).



Por último la potencia de fuego o energía que entrega el combustible (madera). En función del tiempo que tarda el agua en llegar al punto de ebullición, en esta prueba el tiempo es importante pero no trascendental para una conclusión en general. La menor potencia de fuego es entregada por la prueba de inicio caliente en el horno con 24,25 KWatt. Determinando que fue la prueba donde menor cantidad de madera fue utilizada para hervir los 2,5 L de agua y centrando la atención en el diseño de las cámaras de combustión, estas aprovechan al máximo el calor del combustible evitando que se genere perdidas reflejadas en ceniza y humo.

El comportamiento mostrado por el horno ecoeficiente en la prueba de fuego lento encendido durante 45 minutos fue exitosa, la temperatura se mantuvo sin tener ninguna alteración, se observó la excelente respuesta de las cámaras de combustión, estas mantuvieron el fuego en buena potencia utilizando pocas cantidades de madera y las emisiones de humo son las pretendidas para evitar contaminación en el área de preparación de los alimentos.

La prueba de WBT llevada a cabo en la fundación kirios permitió hacer una comparación exitosa entre ambos sistemas (horno ecológico y estufa antigua) el

horno diseñado teniendo en cuenta parámetros adoptados por el Dr Winarsky obtuvo excelentes resultados como velocidad de combustión, vital para que en la fundación cocinen de forma rápida y también ahorren leña, el promedio de madera seca equivalente consumida apoya estos resultados.

Otro factor importante son las cámaras de combustión construidas con parámetros específicos con el propósito de aprovechar al máximo la madera en el proceso de pirolisis, la variable de combustible consumido lo corrobora. Esta fue la prueba donde menor cantidad de madera se utilizó para llevar a ebullición el agua.

Las cámaras de combustión también cumplieron el objetivo de generar la menor cantidad de humo, cuando la combustión de madera se estabiliza el humo generado es nulo, esto es posible por la altura que existe entre el lugar donde se deposita la madera en la cámara de combustión y el sitio donde se coloca la olla, dicha distancia permite que los gases generados en la pirolisis sean quemados completamente y no por el contrario sean expulsados por los ductos de escape como humo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Liderar el proyecto del horno ecoeficiente permite ver la forma en que personas cocinan en la región, con dificultades como la obtención de madera, forma de aislar el humo del lugar donde se preparan los alimentos dejando ver que el gobierno municipal y regional debe trabajar en la mejora de la calidad de vida de personas que requieren un horno cuyo combustible de funcionamiento es la leña o madera tomada de los montes adyacentes a sus viviendas.

Los estudiantes de la universidad deben apropiarse de temas de interés social donde con ayuda de investigaciones tecnológicas le den un valor agregado al sistema, equipo, herramienta que solucione un problema a un grupo determinado de personas. Esta interacción con la comunidad de la región permite un desarrollo conjunto donde los estudiantes adquieren una experiencia y las personas adquieren un beneficio.

El horno ecológico fue construido teniendo en cuenta las especificaciones de las personas líderes de la fundación Kyrios. La fundación cuenta con más de 30 personas y se están haciendo adecuaciones para que sean de 50 a 70 personas, por ende el horno se diseñó y construyó con grandes dimensiones figuras 10 y 11, teniendo en cuenta que la mayoría de veces los alimentos son preparados en ollas de cinco litros (indios) y ollas a presión, de este requerimiento que la cámara de combustión tenga 70 cm de altura para que la madera depositada pueda hacer la combustión de manera correcta; en la fundación la madera más utilizada son trozos de pino y guadua.

Hogares donde se utilice el horno para cocinar menores cantidades de alimento, debe disminuir la altura en función de la cantidad de leña necesaria para obtener una combustión adecuada, se deben hacer pruebas para formular la altura correcta.

Al momento de diseñar y construir un horno es importante tener reuniones previas con los usuarios finales, son estas personas quienes van a utilizarlo para la preparación de alimentos. Se debe hacer un listado de las limitaciones que tienen con la estufa u horno actual, identificar la cantidad de comida a preparar diariamente, leña consumida y de donde la adquieren, conocer si debido al humo personas han adquirido enfermedades respiratorias. Estos factores son importantes para la posterior construcción y puesta en marcha del horno de no tenerlos presentes es probable que haya sobredimensionamiento y exceso de costos.

6. BIBLIOGRAFIA

1. **Alimentacion, Organizacion de las Naciones Unidas para la Agricultura y la.** FAO. [En línea] Departamento de Montes, 2000. [Citado el: 09 de Agosto de 2014.] http://www.fao.org.mx/index_archivos/Que%20es%20la%20FAO.htm.
2. **Contreras, Israel Acosta.** *Estudio de Tendencias y Perspectivas del Sector Forestal en America Latina*. [http://www.fao.org/docrep/007/j4192s/j4192s00.htm] Roma : Departamento de Montes, 2004.
3. **Agricultura, Organizacion de las Naciones Unidas para la Alimentacion y la.** FAO. [En línea] 2012. [Citado el: 09 de Agosto de 2014.] <http://www.fao.org/docrep/017/i3027s/i3027s00.htm>.
4. **Publicaciones, IEA.** Agencia Internacional de Energia. [En línea] Octubre de 2009. [Citado el: 10 de Agosto de 2014.] <http://www.iea.org>.
5. **Garcia, Juan E. Carrasco.** Escuela de Negocios (EOI). [En línea] [Citado el: 10 de Agosto de 2014.] http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45279/componente45278.pdf.
6. **Yunus, Cengel A. y Michael., Boles A.** *Termodinamica, cuarta edicion en español*. s.l. : McGraw-Hill, Interamericana, 2003.
7. **Alianza mundial para estufas limpias (Alianza), Partnership for Clean Indoor Air (PCIA) .** *Alianza mundial para estufas limpias (Alianza), Partnership for Clean Indoor Air (PCIA) .* [En línea] 19 de 03 de 2014. [Citado el: 05 de 07 de 2015.] <http://cleancookstoves.org/technology-and-fuels/testing/protocols.html>.
8. **zibusca.** <http://www.zibusca.com/>. <http://www.zibusca.com/>. [En línea] [Citado el: 05 de 06 de 2015.]
9. **Mediawiki, Powered by. Powered by Mediawiki. Powered by Mediawiki.** [En línea] 22 de 10 de 2014. [Citado el: 05 de 06 de 2015.] http://srv2.fis.puc.cl/mediawiki/index.php/Calor_Espec.

10. Agencia de Protección Ambiental de EE.UU., Partnership for Clean Indoor Air (PCIA), con actualizaciones coordinadas por PCIA y la Alianza Mundial para Estufas Limpias (Alianza). *global alliance for clean cookstove. global alliance for clean cookstove.* [En línea] 19 de 03 de 2014. [Citado el: 07 de 05 de 2015.] <http://cleancookstoves.org/binary-data/DOCUMENT/file/000/000/404-1.pdf>.